



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones

PROYECTO FIN DE CARRERA

Estudio de la Interferencia en Redes Celulares bajo el Modelo de Propagación Log-Distancia

Autor: Abel Hernández González

Tutor: Ana García Armada

Leganés, septiembre de 2017

Título: Estudio de la Interferencia en Redes Celulares bajo el Modelo de Propagación Log-Distancia

Autor: Abel Hernández González

Tutor: Ana García Armada

EL TRIBUNAL

Presidente: Victor Gil Jiménez

Vocal: Ignacio Soto Campos

Secretario: Alberto Álvarez Polegre

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 22 de septiembre de 2017 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

RESUMEN

En este trabajo se pretende aplicar el modelo de propagación Log-Distancia para el estudio de la interferencia en entornos de redes celulares.

Se empleará la herramienta de simulación MATLAB para analizar el comportamiento de la SNR, SINR y Capacidad de Shannon en la región de cobertura de una célula, en ciertos casos ilustrativos, como base para el establecimiento posterior de una comparativa, entre una diversidad de escenarios celulares, orientada determinar el más favorable bajo distintas condiciones de interés.

ABSTRACT

The object of this work is to apply the Log-Distance propagation model to the research of the interference phenomena on cellular networks environments.

The MATHLAB simulation tool will be used in some illustrative cases to analysis the behavior of the SNR, SINR and Shannon Capacity on the coverage region of a cell, in order to set a later comparative among a variety of cellular schemes, aimed to determine the option most recommended under the required test conditions.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. MOTIVACIÓN	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. MEDIOS EMPLEADOS	2
1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	2
2. ESTUDIO DE LA INTERFERENCIA EN ENTORNOS CELULARES	4
2.1. MODELO DE RED CELULAR	4
2.2. MODELO DE PÉRDIDAS LOG-DISTANCIA	8
2.2.1. Definición	8
2.2.2. Pérdidas del Trayecto	9
2.2.3. Balance del Enlace	15
2.3. ANÁLISIS DE LA SNR EN LA REGIÓN DE COBERTURA	18
2.3.1. Región de Cobertura Circular	18
2.3.1.1. Población Uniformemente Distribuida a lo largo de un Radial	18
2.3.1.2. Célula Circular Aislada	20
2.3.1.2.1. Distribución de Población Uniforme en Distancia	20
2.3.1.2.2. Población Uniformemente Distribuida	23
2.3.1.2.3. Comparativa de Distribuciones de Población	25
2.3.2. Región de Cobertura Hexagonal Regular	33
2.3.2.1. Distribución de Población Uniforme en Distancia	33
2.3.2.2. Población Uniformemente Distribuida	35
2.3.2.3. Comparativa de Distribuciones de Población	37
2.3.3. Comparativa de Regiones de Cobertura	38
2.4. ANÁLISIS DE LA SINR EN LA REGIÓN DE COBERTURA	42
2.4.1. Interferencia en un Punto entre Dos Estaciones Base	42
2.4.1.1. Enlace Descendente	42
2.4.1.2. Enlace Ascendente	48
2.4.2. Interferencia en una Región	54
2.4.2.1. Dos Células Circulares Aisladas	54
2.4.2.2. Dos Células Circulares Solapadas	60
2.4.2.3. Panal de Siete Células Circulares Solapadas	67

2.5. ANÁLISIS DEL BORDE DE LA REGIÓN DE COBERTURA	73
2.5.1. SINR bajo Cobertura Hexagonal Regular	73
2.5.2. SINR bajo Cobertura Circular	76
2.5.3. SNR bajo Cobertura Hexagonal Regular	81
2.6. REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS	84
2.6.1. Reutilización Celular	85
2.6.1.1. Reutilización Celular Tribanda	86
2.6.2. Reutilización Sectorial	91
2.6.2.1. Reutilización de Frecuencias Intracelular	91
2.6.2.1.1. Reutilización Sectorial Tribanda	94
2.6.2.1.2. Comparativa de Resultados con 3 y 8 EB Interferentes	99
2.6.2.2. Reutilización de Frecuencias Intercelular	107
2.6.2.2.1. Reutilización Sectorial Tetrabanda	108
2.6.2.3. Comparativa de Casos de Estudio	113
2.6.3. Reutilización FFR	115
2.6.3.1. Núcleo Celular Aislado	115
2.6.3.1.1. Región de Cobertura Circular	116
a) Reutilización FFR Bibanda	116
b) Reutilización FFR 7+1	123
2.6.3.1.2. Región de Cobertura Hexagonal Regular	129
a) Reutilización FFR Bibanda	129
b) Reutilización FFR 7+1	135
2.6.3.1.3. Análisis de Resultados Contradictorios	139
2.6.3.2. Escalamiento de casos FFR	149
2.6.3.2.1. Reutilización FFR 3+3	149
2.6.3.2.2. Reutilización FFR 7+3	151
3. COMPARATIVA DE ESCENARIOS	156
3.1. PRESENTACIÓN DE ESCENARIOS	156
3.2. PARÁMETROS DE TRABAJO	161
3.3. CRITERIOS DE VALORACIÓN	162
3.4. EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS	163
3.4.1. Primera Aproximación (Exhaustiva)	164
3.4.1.1. Asignación de Máximo Ancho de Banda al Radiocanal	164
3.4.1.1.1. Población Uniformemente Distribuida	165
a) Reutilización Celular Monobanda	165
b) Reutilización Celular Tribanda	166
c) Reutilización Celular Heptabanda	168
d) Reutilización Sectorial Tribanda	169

e) Reutilización Sectorial Tetrabanda	170
f) Reutilización FFR Bibanda	172
g) Reutilización FFR 3+1	175
h) Reutilización FFR 7+1	178
i) Reutilización FFR 3+3	181
j) Reutilización FFR 7+3	184
3.4.1.1.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia	187
a) Reutilización Celular Monobanda	187
b) Reutilización Celular Tribanda	189
c) Reutilización Celular Heptabanda	190
d) Reutilización Sectorial Tribanda	192
e) Reutilización Sectorial Tetrabanda	193
f) Reutilización FFR Bibanda	195
g) Reutilización FFR 3+1	198
h) Reutilización FFR 7+1	201
i) Reutilización FFR 3+3	204
j) Reutilización FFR 7+3	207
3.4.1.1.3. Aplicación a Microcélula	210
a) Reutilización Celular Monobanda	210
b) Reutilización Celular Tribanda	212
c) Reutilización Celular Heptabanda	213
d) Reutilización Sectorial Tribanda	215
e) Reutilización Sectorial Tetrabanda	216
f) Reutilización FFR Bibanda	218
g) Reutilización FFR 3+1	221
h) Reutilización FFR 7+1	224
i) Reutilización FFR 3+3	227
j) Reutilización FFR 7+3	230
3.4.1.2. Asignación de Ancho de Banda Fijo al Radiocanal	233
3.4.1.2.1. Población Uniformemente Distribuida	233
a) Reutilización Celular Monobanda	233
b) Reutilización Celular Tribanda	235
c) Reutilización Celular Heptabanda	236
d) Reutilización Sectorial Tribanda	238
e) Reutilización Sectorial Tetrabanda	239
f) Reutilización FFR Bibanda	241
g) Reutilización FFR 3+1	242
h) Reutilización FFR 7+1	244
i) Reutilización FFR 3+3	245
j) Reutilización FFR 7+3	247
3.4.2. Segunda Aproximación (Razonada)	248
3.4.2.1. Asignación de Ancho de Banda Fijo al Radiocanal	249

3.4.2.1.1. Población Uniformemente Distribuida	249
a) Reutilización FFR Bibanda	249
b) Reutilización FFR 3+1	251
c) Reutilización FFR 7+1	252
d) Reutilización FFR 3+3	254
e) Reutilización FFR 7+3	255
3.4.2.1.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia	257
a) Reutilización Celular Monobanda	257
b) Reutilización Celular Tribanda	258
c) Reutilización Celular Heptabanda	260
d) Reutilización Sectorial Tribanda	261
e) Reutilización Sectorial Tetrabanda	263
f) Reutilización FFR Bibanda	264
g) Reutilización FFR 3+1	266
h) Reutilización FFR 7+1	267
i) Reutilización FFR 3+3	269
j) Reutilización FFR 7+3	270
3.4.2.2. Asignación de Máximo Ancho de Banda al Radiocanal	272
3.4.2.2.1. Población Uniformemente Distribuida	272
a) Reutilización FFR Bibanda	272
b) Reutilización FFR 3+1	273
c) Reutilización FFR 7+1	275
d) Reutilización FFR 3+3	276
e) Reutilización FFR 7+3	278
3.4.2.2.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia	279
a) Reutilización FFR Bibanda	279
b) Reutilización FFR 3+1	281
c) Reutilización FFR 7+1	282
d) Reutilización FFR 3+3	284
e) Reutilización FFR 7+3	285
3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	287
3.5.1. Primera Aproximación (Exhaustiva)	288
3.5.1.1. Asignación de Máximo Ancho de Banda al Radiocanal	288
3.5.1.1.1. Población Uniformemente Distribuida	288
a) Caso: $n=3$	288
b) Caso: $n=2$	289
3.5.1.1.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia	290
a) Caso: $n=3$	290
3.5.1.1.3. Aplicación a Microcélula	291
a) Caso: $n=4$	291
b) Caso: $n=3.5$	292

3.5.1.1.4. Variación del Comportamiento con el Radio de Cobertura	293
a) Caso: $n=3$	293
b) Caso: $n=4$	295
3.5.1.2. Asignación de Ancho de Banda Fijo al Radiocanal	297
3.5.1.2.1. Población Uniformemente Distribuida	297
a) Caso: $n=3$	297
b) Caso: $n=2.5$	298
3.5.2. Segunda Aproximación (Razonada)	299
3.5.2.1. Asignación de Ancho de Banda Fijo al Radiocanal	299
3.5.2.1.1. Población Uniformemente Distribuida	299
a) Caso: $n=3$	299
3.5.2.1.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia	300
a) Caso: $n=3$	300
3.5.2.1.3. Distribución de Población No Uniforme o Indeterminada	302
3.5.2.2. Asignación de Máximo Ancho de Banda al Radiocanal	303
3.5.2.2.1. Población Uniformemente Distribuida	303
a) Caso: $n=3$	303
3.5.2.2.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia	304
a) Caso: $n=3$	304
3.5.2.2.3. Distribución de Población No Uniforme o Indeterminada	305
3.5.2.3. Asignación de Ancho de Banda Flexible al Radiocanal	306
3.5.2.3.1. Población Uniformemente Distribuida	306
3.5.2.3.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia	307
3.5.2.4. Valoración en Cómputo Global	307
4. CONCLUSIONES	308
5. PRESUPUESTO	311
6. GLOSARIO	314
7. BIBLIOGRAFÍA	315
8. APÉNDICE A: FACTOR DE RUIDO DE UN RECEPTOR	316
A.1. Factor de ruido de un cuadripolo definido a temperatura T_0	316
A.2. Factor de ruido de un cuadripolo definido a temperatura $T_A \neq T_0$	317
A.3. Potencia de ruido interno del cuadripolo	318
A.4. Factor de ruido de una antena	318
A.5. Potencia de ruido en un receptor simple	318
A.6. Potencia de ruido en un receptor complejo	320

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

En este trabajo se muestra el fenómeno de la interferencia como uno de los factores determinantes de la cobertura en entornos de redes celulares, además del nivel y la calidad de la señal recibida, condicionando el diseño de la capa física de la red.

A su vez, el grado de interferencia que se derive de la gestión específica del ancho de banda disponible puede determinar el esquema de red a implementar.

En este contexto resulta crucial estudiar el fenómeno de la interferencia en distintos escenarios simulados, bajo diversas circunstancias, a fin de determinar las opciones más ventajosas en cada caso.

Para ello, se hace preciso el empleo de un modelo de propagación sencillo, que permita considerar diferentes condiciones de propagación, a fin de definir la aplicabilidad de una determinada opción.

La distribución de probabilidad de las prestaciones de la red en la región de cobertura se presenta en este documento como una de las herramientas de análisis y comparación más útil en la búsqueda de la mejor solución.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo fundamental del presente Proyecto puede dilucidarse de su título. Pretende caracterizar en profundidad el fenómeno de la interferencia en redes celulares, bajo determinadas circunstancias de interés, con el consiguiente propósito de buscar soluciones de diseño robustas frente a la misma.

De este modo, el núcleo del documento se encuentra dividido en dos partes claramente diferenciadas: “*Estudio de la Interferencia en Entornos Celulares*” y “*Comparativa de Escenarios*”.

El *Estudio* tiene como objetivo proporcionar una base sólida que permita comprender el origen de los diferentes efectos que, posteriormente, puedan observarse en la *Comparativa de Escenarios*, emulando condiciones reales, donde la concurrencia de factores hace más compleja la discriminación de su naturaleza o alcance.

1.3. MEDIOS EMPLEADOS

Los recursos con que se ha contado para la realización de este Proyecto han sido los siguientes:

- Un estudiante de Ingeniería de Telecomunicación, con perfil de analista y desarrollador software en Matlab.
- Un supervisor o coordinador del Proyecto, responsable de trazar la línea de investigación del Proyecto y de proporcionar el asesoramiento necesario, materializado en la figura del tutor del Proyecto.
- Un ordenador portátil.
- Una licencia de Matlab Profesional.
- Un paquete software de Office.
- Conexión a internet.

1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Con la salvedad del presente capítulo introductorio y del apartado de conclusiones, la memoria se encuentra estructurada en dos partes diferenciadas:

➤ ESTUDIO DE LA INTERFERENCIA EN ENTORNOS CELULARES:

▪ **Modelo de Red Celular:**

Este capítulo pretende contextualizar el estudio a desarrollar.

▪ **Modelo de Pérdidas Log-Distancia:**

En este capítulo se define y caracteriza el modelo de propagación empleado en las simulaciones.

▪ **Análisis de la SNR en la Región de Cobertura:**

En este capítulo se estudia la calidad del enlace en la célula, en ausencia de toda interferencia.

▪ **Análisis de la SINR en la Región de Cobertura:**

En este capítulo se estudia la calidad del enlace en la célula cuando es interferida por otras células cercanas.

▪ **Análisis del Borde de la Región de Cobertura:**

Este capítulo completa los dos capítulos precedentes, analizando en detalle el comportamiento en el extremo de la célula.

- **Reutilización de Frecuencias:**

En este capítulo se presentan y estudian diferentes esquemas orientados a la mejora de la interferencia intercelular.

➤ **COMPARATIVA DE ESCENARIOS:**

- **Presentación de Escenarios:**

En este capítulo se muestran los escenarios que van a ser evaluados, determinándose las Estaciones Base interferentes cuya contribución será considerada en el balance.

- **Parámetros de Trabajo:**

En este capítulo se determinan los parámetros de trabajo y los valores de los mismos empleados en las simulaciones de la comparativa.

- **Criterios de Valoración:**

En este capítulo se definen y justifican los criterios de valoración, o criterios de calidad, empleados para la evaluación y la comparativa de los escenarios.

- **Evaluación de Escenarios:**

Se trata de un capítulo puramente descriptivo donde se muestra el comportamiento de cada escenario bajo las diferentes condiciones de trabajo establecidas. Los resultados se presentan, tanto de forma gráfica, como tabulados acorde a los criterios de valoración planteados.

- **Análisis de Resultados:**

En este capítulo se efectúa la comparativa de los escenarios bajo las diferentes circunstancias planteadas, puntuando su comportamiento en cada uno de los criterios establecidos.

2. ESTUDIO DE LA INTERFERENCIA

2.1. MODELO DE RED CELULAR

Considérese un escenario teórico en el que no hay obstáculos. Dado este escenario, se define una célula *circular aislada* como aquella región circular del plano en la que una estación base, que transmite y recibe de forma uniforme en azimut, proporciona cobertura de red, en exclusiva, a un terminal de móvil referencia.

El término *aislada* alude a que, inmediatamente más allá del borde de la región de cobertura de la estación base, no hay cobertura de red (o al menos, no con unos parámetros mínimos de calidad determinados). Desde un punto de vista matemático, la región de cobertura constituye un conjunto de puntos del plano inconexo de cualquier otro conjunto de puntos que también forme una región de cobertura del mismo terminal móvil de referencia.

El radio de la región de cobertura vendrá determinado por los parámetros de transmisión y recepción de la estación base y del terminal móvil de referencia empleado, tomándose el máximo valor que garantiza la cobertura simultánea de los enlaces ascendente y descendente.

El modelo de *célula aislada* conlleva que en cada punto de la misma **sólo exista cobertura de una misma estación base**.

Manteniendo esa filosofía, si se replica este modelo con el objetivo de dar cobertura a una región amplia del plano, resulta el escenario siguiente:

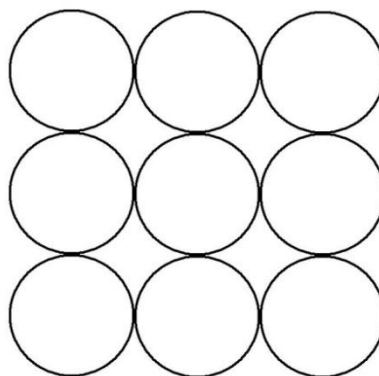


Figura 1: Replicación de célula circular aislada.

Según muestra la figura, se plantea la problemática de que quedan regiones sin cobertura. La solución conlleva, necesariamente, el solape de células circulares.

Supóngase que, idealmente, pudiera alterarse el diagrama de radiación de la estación base, lográndose cualquier geometría. Lo deseable sería contar con un modelo de célula aislada cuya forma geométrica permitiera replicar el modelo sin solapamiento, a la vez que no dejando regiones sin cobertura. Una posibilidad es hacerlo empleando la célula hexagonal regular, según muestra la figura siguiente:

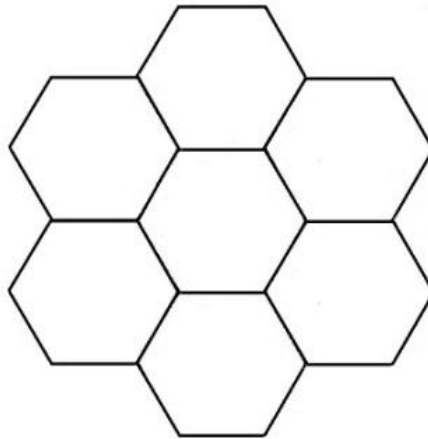


Figura 2: Replicación de célula hexagonal regular.

La figura siguiente muestra cómo puede construirse un hexágono regular a partir de una circunferencia, quedando el hexágono inscrito a la misma.

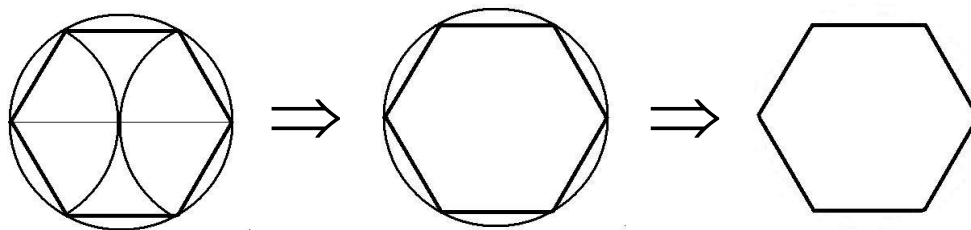


Figura 3: Construcción del hexágono regular.

Uniendo los vértices del hexágono regular se obtienen seis triángulos equiláteros. Es decir, que la distancia del centro del hexágono a cualquiera de sus vértices es igual a la longitud de cualquiera de sus lados. Dicho de otro modo, cada lado del hexágono mide igual que la distancia desde su centro a cualquiera de las aristas o, lo que es lo mismo, igual que el radio R del círculo circunscrito, que aparece dibujado en la figura.

Como se ha visto, replicando el modelo de célula aislada con forma hexagonal regular no hay solapamiento de cobertura entre células adyacentes, si bien, esto es una idealización. Por otra parte, en ese escenario se va a verificar que la distancia entre una estación base y la de cualquiera de las células adyacentes (que habrán de estar posicionadas en los centros de los hexágonos), resulta la misma ($\sqrt{3} \cdot R$), aspecto importante en la planificación de la cobertura de red.

Otro modo de llegar a la aproximación de región con cobertura de red basada en células hexagonales regulares puede ser partiendo de la replicación, de forma solapada, de células circulares, según muestra la figura siguiente:

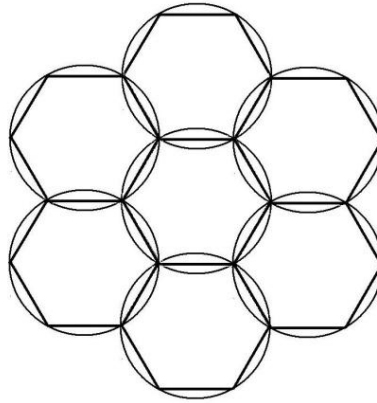


Figura 4: Replicación óptima de células circulares solapadas.

Nótese en la figura que este modo de replicación da lugar a que en cada punto sólo pueda haber, como mucho, solape de dos células adyacentes. Esto significa que la cobertura pudiera ser proporcionada en algunos puntos, indistintamente, por dos estaciones base.

Sin embargo, bajo la hipótesis lógica de que la titularidad de la cobertura en cada punto del plano corresponda a la estación base más próxima, se llega igualmente a la aproximación de región con cobertura de red basada en células hexagonales regulares, donde cada lado de un hexágono delimita la zona de cobertura entre dos células circulares que se solapan, según ilustraba la figura anterior.

Por otro lado, partiendo de la base de que la cobertura de la red haya sido diseñada de una forma óptima (es decir, procurando maximizar el área de cobertura ofrecida por cada estación base), a la hora de evaluar los efectos de la interferencia de otras células sobre el área de cobertura de una determinada, cabe pensar que una buena aproximación podría consistir en estimar únicamente el efecto de las células adyacentes a la misma, siendo presumiblemente despreciable el efecto de aquéllas otras no adyacentes.

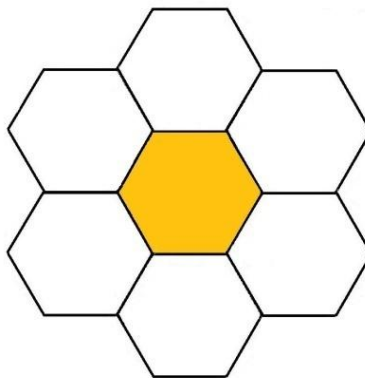


Figura 5: Primer anillo celular circundante de la célula bajo estudio.

De este modo, la figura anterior muestra las células que habría que computar, bajo la hipótesis anterior, a efectos de interferencia sobre la célula sombreada.

Nótese que la geometría de este modelo de planificación de cobertura celular da lugar a que la distancia entre la estación base de la célula sombreada y la de cualquiera de las células adyacentes sea la misma, $\sqrt{3} \cdot R$, según se comentó anteriormente.

Por consiguiente, la lógica de este planteamiento conlleva que en cada punto de la célula sombreada sólo habrá de computarse el efecto de la interferencia de aquellas estaciones base que se encuentren a una distancia inferior a $2R$ ¹ del mismo. De un modo análogo, en el enlace ascendente, sólo habría que computar las contribuciones de aquellos terminales móviles interferentes que se encontrasen a una distancia inferior a $2R$ de la estación base de la célula sombreada.

Imponiendo la salvedad de distancia anterior se obvia la cuestión de tener que computar la interferencia con una célula no adyacente en las proximidades de los vértices de la célula sombreada.

Por último, para determinar el área de la región de cobertura de una célula, habrá que servirse de los balances de potencia, en función de la distancia, de los enlaces ascendente y descendente.

¹ Dado que los vértices de la célula sombreada se encuentran a distancia $2R$ de las estaciones base más cercanas de células no adyacentes (como consecuencia de no tener el escenario planteado simetría de revolución respecto del centro de la célula sombreada).

2.2. MODELO DE PÉRDIDAS LOG-DISTANCIA

2.2.1. Definición

Es un modelo empírico que caracteriza la atenuación o pérdidas de propagación del trayecto en un radioenlace. Siendo empírico, estará basado campañas de medidas y ajuste de curvas a partir de los datos muestreados [1].

Se ha comprobado que los resultados empíricos, en muchas ocasiones, muestran un decaimiento logarítmico con la distancia, al igual que la Fórmula de Friis, si bien, el exponente cuadrático de ésta última no suele ser el mejor ajuste a los datos en muchos ambientes de propagación reales.

Bajo esta consideración, se plantea el Modelo de Pérdidas del Trayecto (por propagación) Log-Distancia, cuya expresión es la siguiente:

$$PL(d)_{dB} = PL(d_0)_{dB} + 10 \cdot n \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

Donde:

PL_{dB} : Pérdidas del Trayecto expresadas en dB.

d : Distancia a la que se evalúan las pérdidas del trayecto (o distancia entre el transmisor y el receptor).

d_0 : Distancia de Referencia.

n : Coeficiente de Pérdidas del Trayecto.

El coeficiente n se emplea para modelar la densidad de obstáculos del entorno o, en definitiva, las pérdidas por multitrayecto que conlleva.

Las pérdidas del trayecto a la distancia de referencia $PL(d_0)$ se calculan, generalmente, a partir del Modelo de Propagación en Espacio Libre o fórmula de Friis:

$$PL(d_0)_{dB} = 32.44 + 20 \cdot \log(d_0) + 20 \cdot \log(f)$$

Donde:

PL : Pérdidas del Trayecto.

d_0 : Distancia a la que se evalúan las pérdidas del trayecto, expresada en Km.

f : Frecuencia de la Señal, expresada en MHz.

De este modo, en el Modelo Log-Distancia, d_0 será una distancia relativamente pequeña en la que se cumplan condiciones de espacio libre.

La principal aplicación de este modelo es la predicción de cobertura para el diseño de redes inalámbricas, partiendo de la caracterización de su entorno. En todo caso, en este trabajo será empleado para el estudio de la interferencia en redes celulares y la búsqueda de soluciones de diseño robustas, bajo determinadas premisas.

Existen variantes del modelo Log-Distancia que persiguen un mejor ajuste del modelo a las medidas, mediante la inclusión de variables aleatorias. Uno de ellos es el Modelo Log-Normal [2], cuya expresión es la siguiente:

$$PL(d)_{dB} = PL(d_0)_{dB} + 10 \cdot n \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma$$

Donde:

X_σ : Variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad Log-Normal.

La variable aleatoria X_σ está expresada en dB, si bien, se corresponde (en unidades naturales) con una variable aleatoria Gaussiana de media cero y desviación típica σ , que modelizaría los efectos aleatorios de las sombras (“shadow fading”).

2.2.2. Pérdidas del Trayecto

El objetivo de este apartado es evaluar el comportamiento de la **expresión** del modelo de pérdidas Log-Distancia, presentada en el apartado anterior.

A fin de obtener la gráfica de Pérdidas del Trayecto en función de la distancia, considérense los siguientes parámetros de simulación:

Frecuencia de Trabajo: $f = 1800$ MHz

Distancia de referencia $d_0 = 1$ Km

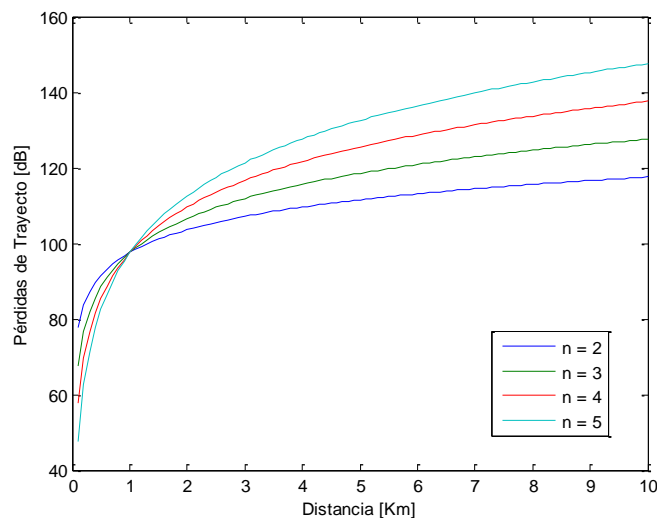


Figura 6: Pérdidas del Trayecto en función de la distancia, con $d_0=1$ Km.

Se observa que todas las curvas se cruzan para una distancia igual a la distancia de referencia ($d = d_0$), ya que, para dicha distancia, el factor logarítmico que aparece en la expresión se anula ($\log 1 = 0$), manteniéndose el término constante ($PL_{dB}(d_0)$).

Coherentemente con la realidad, el modelo también evidencia en la gráfica que, conforme disminuye la distancia ($d \rightarrow 0$), las pérdidas del trayecto PL se hacen cada vez más pequeñas ($PL \rightarrow 0$). No obstante, como se desprenderá de la gráfica siguiente, matemáticamente, no se puede afirmar que para $(d - d_0) \rightarrow d$ las curvas de PL_{dB} converjan en el valor $-\infty$ dB.

Expresando la distancia en escala logarítmica, las curvas de $PL_{dB}(d)$ resultan líneas rectas:

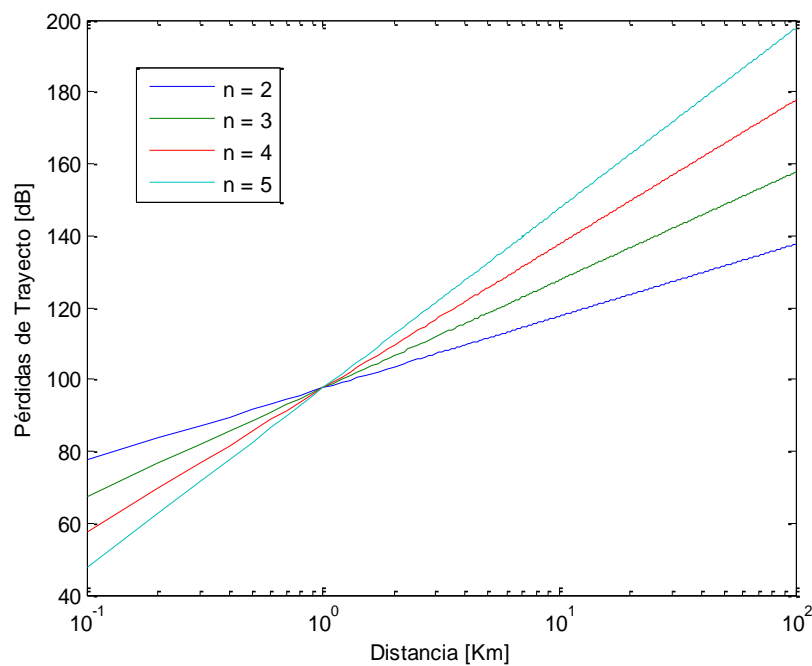


Figura 7: $PL_{dB}(d)$ con eje de distancias en escala logarítmica y $d_0=1$ Km.

Si la distancia de referencia se elige de modo que resulte despreciable frente a la distancia máxima a la que se pretende evaluar las pérdidas ² ($d_0 \ll d_{max}$), resulta la gráfica mostrada a continuación, en la que se han tomado los siguientes parámetros de simulación:

Frecuencia de Trabajo: $f = 1800$ MHz.
 Distancia de referencia $d_0 = 100$ m

² Gráficamente es equivalente a representar una escala de distancias muy grande con respecto a la distancia de referencia. Así, por ejemplo: $10\text{Km} \gg 100\text{m}$.

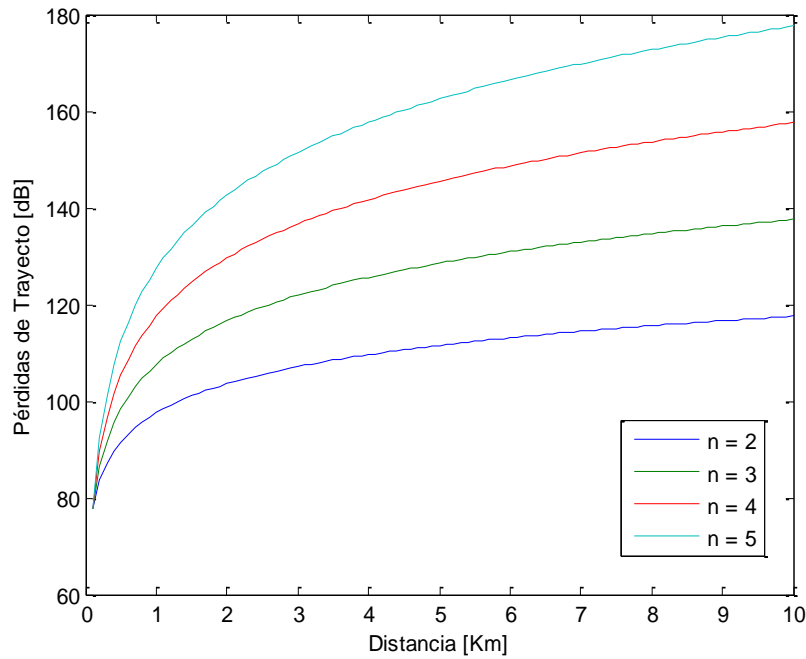


Figura 8: Pérdidas del Trayecto en función de la distancia, con $d_0=100$ m.

Expresando la distancia en unidades logarítmicas, resulta la siguiente gráfica:

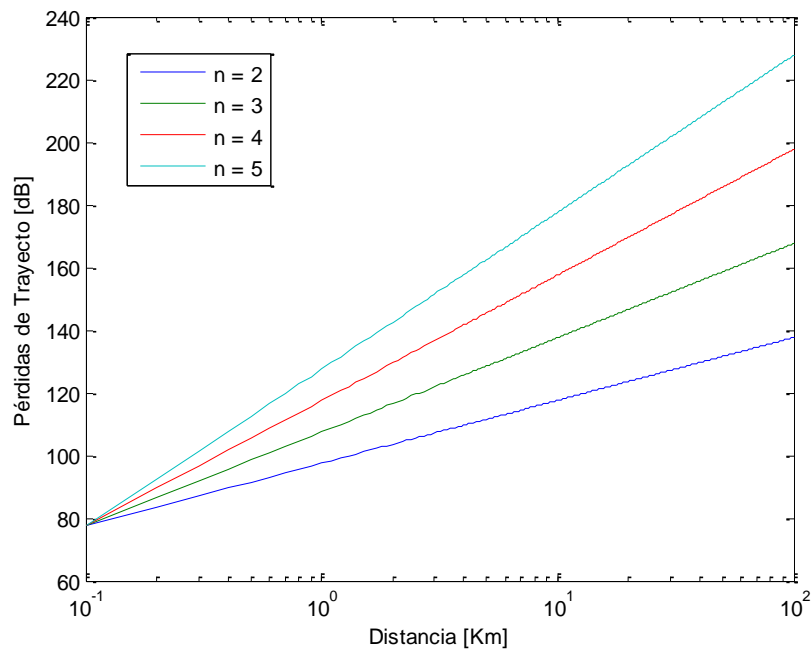


Figura 9: $PL_{dB}(d)$ con eje de distancias en escala logarítmica y $d_0=100$ m.

Según puede observarse, con la consideración anterior, todas las curvas arrancan, aparentemente, del mismo punto, en las inmediaciones del origen de distancias.

Manteniendo los parámetros de la simulación anterior, si se varía el valor del coeficiente de pérdidas en el entorno de $n=2$, resulta la siguiente gráfica:

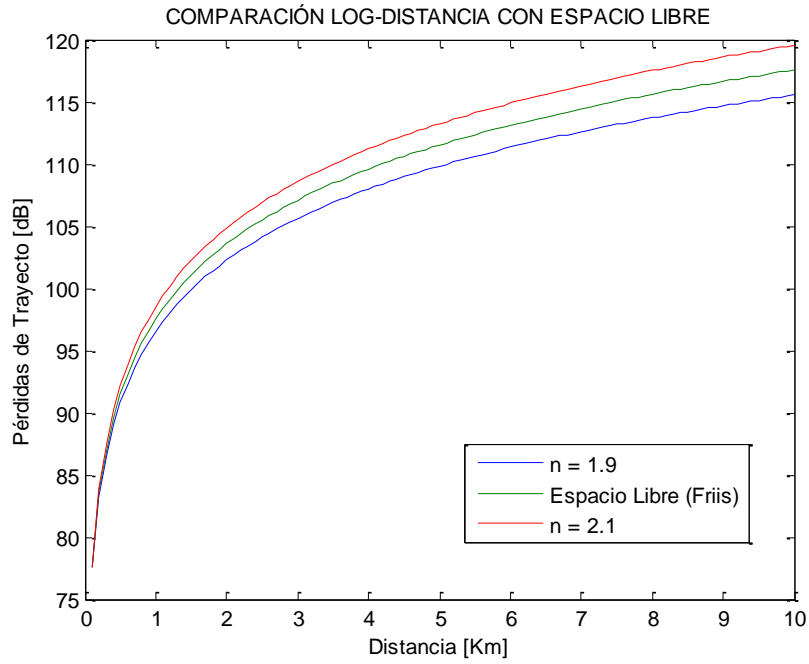


Figura 10: Comparativa de $PL_{dB}(d)$ con las pérdidas en Espacio Libre.

Esta gráfica permite comprobar que las pérdidas en Espacio Libre (fórmula de Friis) coinciden con las pérdidas del trayecto proporcionadas por el modelo Log-Distancia con $n=2$, solapándose las curvas de ambos modelos en la gráfica.

Por otra parte, si se prolonga el eje de distancias, para comprobar la tendencia de $PL_{dB}(d)$, se obtiene la siguiente gráfica:

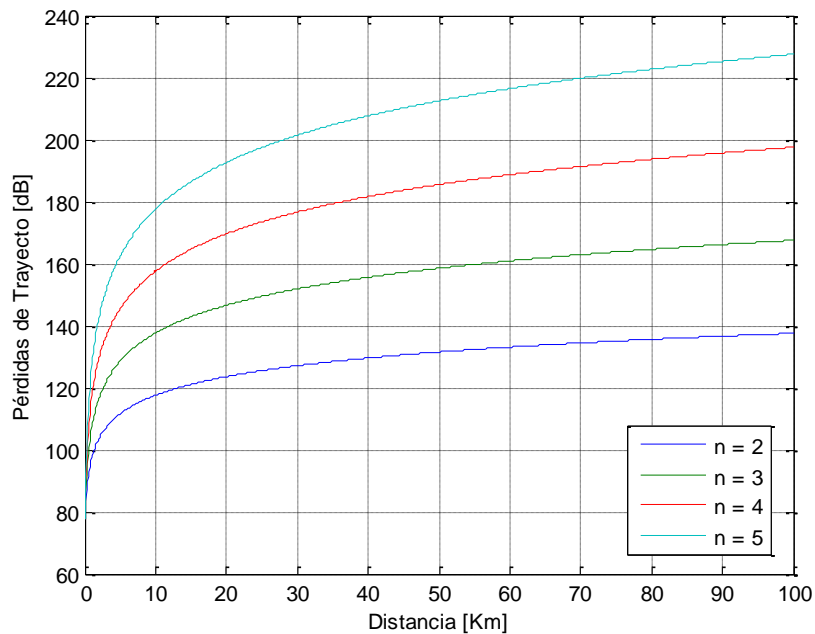


Figura 11: Tendencia de $PL_{dB}(d)$ cuando $d \rightarrow \infty$.

A la vista de las gráficas anteriores, pueden extraerse las siguientes conclusiones, a modo de resumen:

- PL_{dB} aumenta con la distancia de forma logarítmica (o exponencial, si se expresa en unidades naturales).
- PL_{dB} aumenta con el valor del coeficiente n para $d > d_0$.
- El crecimiento de $PL_{dB}(d)$ varía en función de la distancia, siendo mayor para distancias cortas y moderándose a medida que la distancia se hace mayor.
- $PL_{dB}(d)$ modera su crecimiento con la distancia de modo más suave conforme aumenta el valor del coeficiente n .
- $PL_{dB}(d)$ con $n=2$ se corresponde con las pérdidas de propagación en Espacio Libre.
- La aplicación del modelo Log-Distancia sólo cobra sentido para distancias $d > d_0$, para las cuales se verifica que los coeficientes $n > 2$ traen aparejadas pérdidas del trayecto $PL_{dB}(d)$ superiores a las pérdidas en espacio libre, que puede asociarse al efecto de la propagación a través una densidad homogénea de obstáculos.

En adelante, salvo que se indique lo contrario, en el presente documento se sobreentenderá $d_0=100m$.

A continuación, se van a estudiar las pérdidas del trayecto ofrecidas por el modelo Log-Distancia en función de la frecuencia, para diferentes distancias.

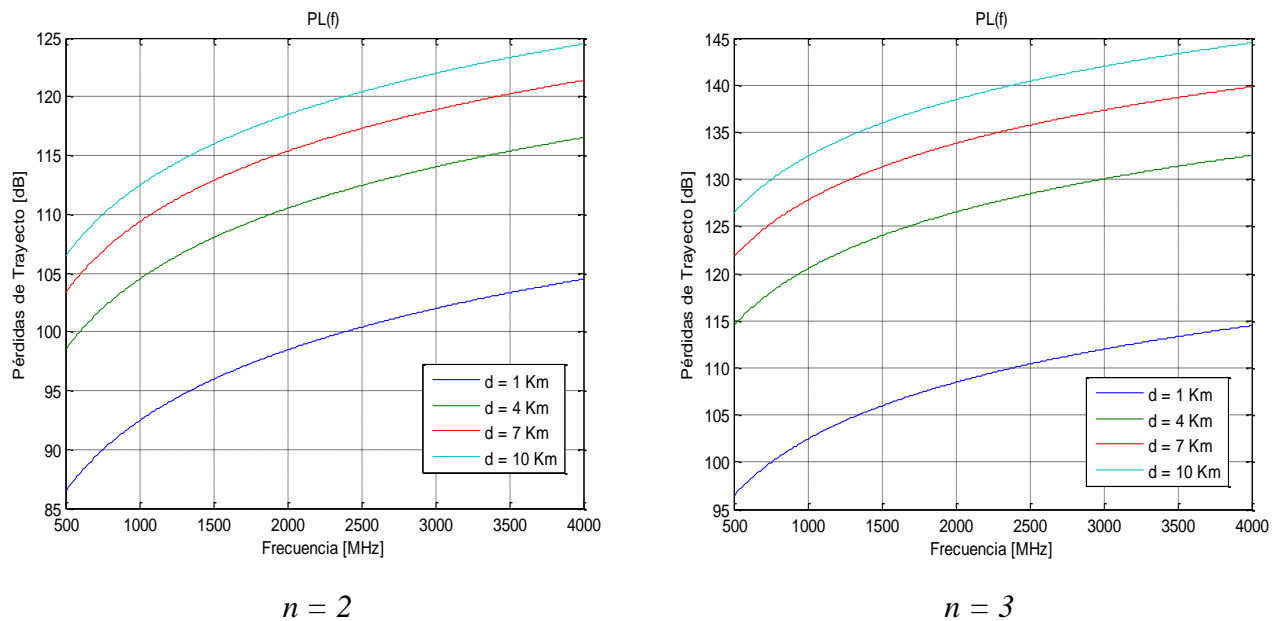


Figura 12.a: Variación de las pérdidas del trayecto con la frecuencia, evaluadas a diferentes distancias.

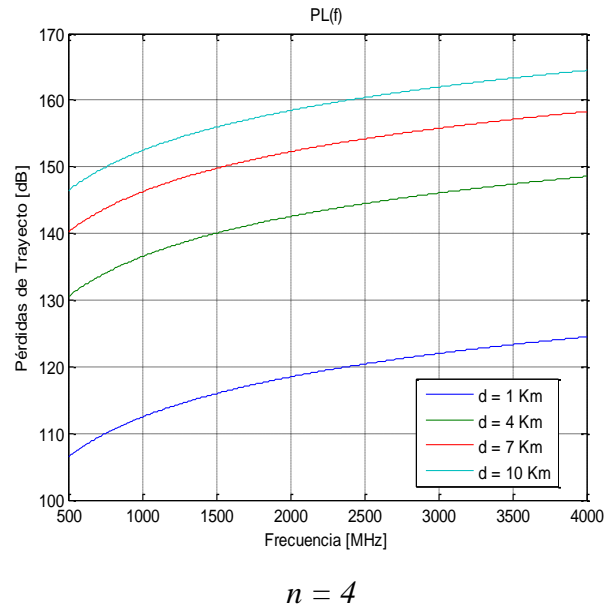


Figura 12.b: Variación de las pérdidas del trayecto con la frecuencia, evaluadas a diferentes distancias.

Según se comprueba en las gráficas, para un mismo valor de n , las curvas de pérdidas del trayecto en función de la frecuencia, evaluadas a diferentes distancias, resultan paralelas entre sí. Es decir, la variación de las pérdidas del trayecto en función de la frecuencia resulta similar a cualquier distancia (si bien, lógicamente, el valor de dichas pérdidas es mayor conforme aumenta la distancia, según había quedado demostrado previamente de forma gráfica).

De igual modo, si se obtienen las curvas de las pérdidas del trayecto en función de la frecuencia para distintos valores de n , a una determinada distancia, se comprueba que resultan paralelas:

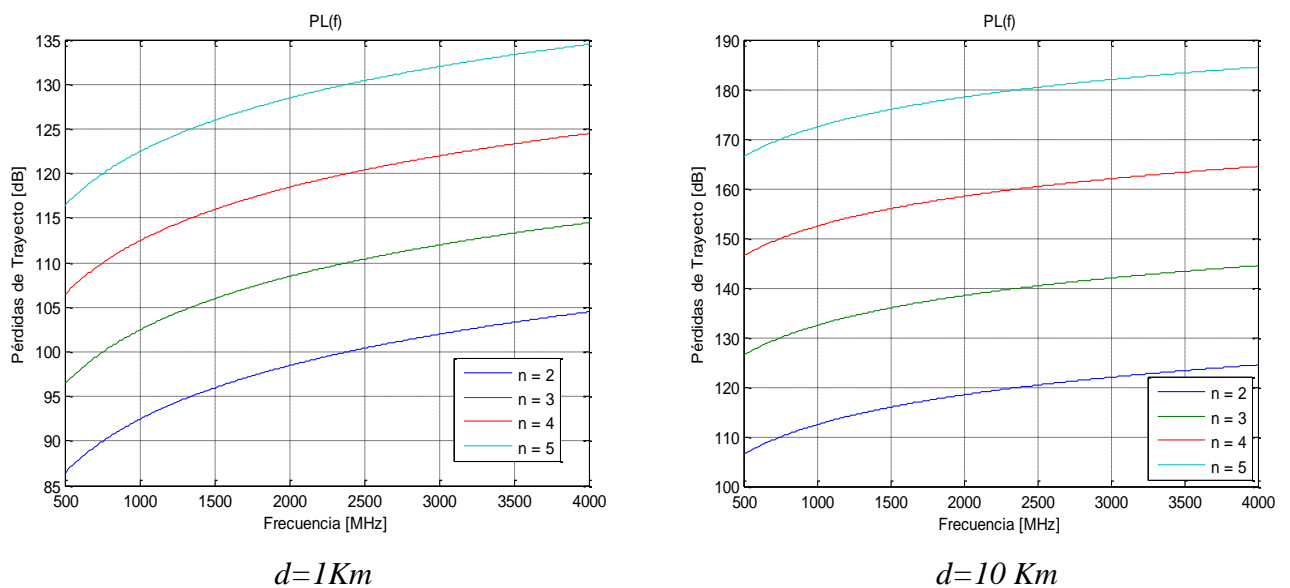


Figura 13: Variación de las pérdidas del trayecto con la frecuencia, para distintos coeficientes de pérdidas.

Es decir, la variación de las pérdidas del trayecto en función de la frecuencia resulta similar para cualquier valor de n (si bien, el valor de dichas pérdidas es mayor conforme aumenta n , según había quedado demostrado previamente de forma gráfica).

2.2.3. Balance del Enlace

Considérese un sistema constituido por una sencilla Estación Base y un Terminal Móvil con el que intercambia datos vía radio.

Se va a evaluar los enlaces ascendente y descendente a una cierta distancia de separación entre ambos terminales, empleando los siguientes **Parámetros de Trabajo**:

Enlace Descendente:

Frecuencia Central del Canal de Trabajo: $f=1800$ MHz
 Potencia Transmitida por la EB: $P_{Tx_EB} = 43$ dBm
 Ganancia de la Antena de la EB: $G_{EB} = 10$ dB
 Ganancia de la Antena del Terminal Móvil: $G_M = 0$ dB
 Distancia de referencia del modelo Log-Distancia: $d_{0_desc} = 100$ metros

Enlace Ascendente:

Frecuencia Central del Canal de Trabajo: $f=1800$ MHz
 Potencia Transmitida por el Terminal Móvil: $P_{Tx_M} = 30$ dBm
 Ganancia de la Antena de la EB: $G_{EB} = 10$ dB
 Ganancia de la Antena del Terminal Móvil: $G_M = 0$ dB
 Distancia de referencia del modelo Log-Distancia: $d_{0_asc} = 100$ metros

Según puede observarse, se está imponiendo que las antenas se comporten igual en transmisión que en recepción, asumiendo que se trate de una misma antena.

Por otra parte, a fin de establecer una comparativa lo más ecuánime posible, se ha establecido que la frecuencia de trabajo sea la misma en ambos enlaces. En este sentido, puede asumirse que el radiocanal de trabajo del sistema constituye un canal de comunicación dúplex o semidúplex.

La ecuación del Balance de Potencias es la siguiente:

$$P_{Rx} [dBm] = P_{Tx} [dBm] + G_{Tx} [dB] + G_{Rx} [dB] + PL [dB]$$

Donde:

P_{Rx} : Potencia de Recepción
 P_{Tx} : Potencia de Transmisión
 G_{Tx} : Ganancia de la Antena Transmisora
 G_{Rx} : Ganancia de la Antena Receptora
 PL : Pérdidas del Trayecto

La ecuación anterior no computa pérdidas de desadaptación entre la antena correspondiente y el conjunto transmisor o receptor del terminal, debiendo sobreentenderse que están debidamente adaptados, o bien, que las potencias indicadas denotan la potencia de transmisión entre tales bloques.

Por otra parte, la ecuación tampoco computa pérdidas de apuntamiento y despolarización en las antenas, debiendo sobreentenderse que están debidamente orientadas y polarizadas, o bien, que las mismas se encuentran imbuidas en el valor de ganancia aplicado en cada caso.

En las gráficas siguientes se muestra una comparativa de la potencia de recepción en el terminal remoto, en función de la distancia, para ambos enlaces.

En la gráfica de la izquierda se ha pretendido que el eje de abscisas indique la distancia de separación entre ambos terminales. Por su parte, en la gráfica de la derecha se ha supuesto que la Estación Base se encuentra posicionada en el origen de distancias y el Terminal Móvil a diez kilómetros de la misma.

Tomando $n = 3$:

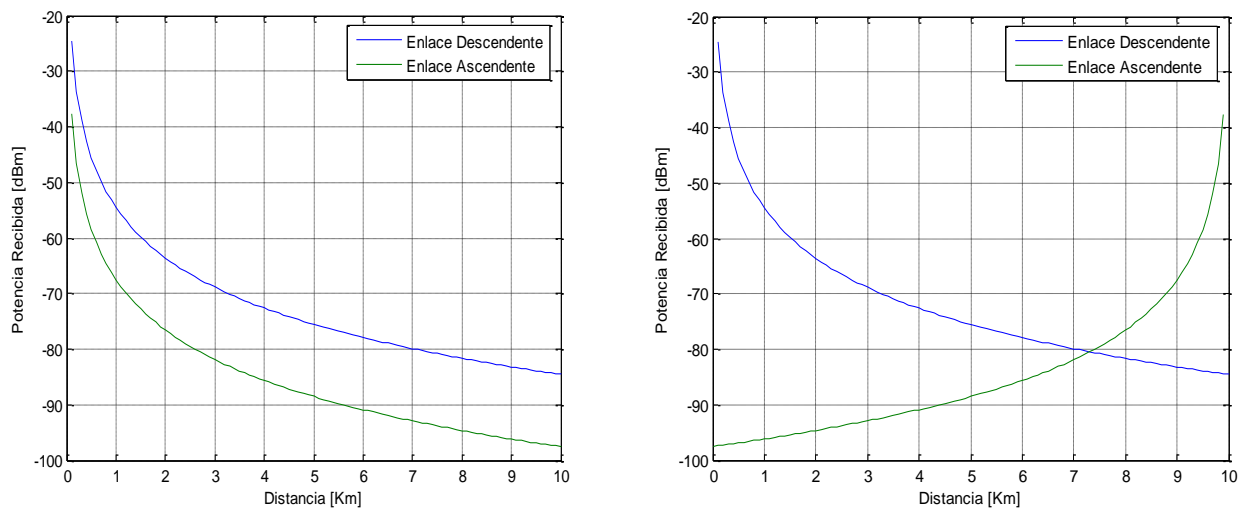


Figura 14: Balance de los Enlaces Ascendente y Descendente con coeficiente de pérdidas $n = 3$.

Se comprueba que, con los parámetros de trabajo establecidos (ilustrativos de los empleados en estándares reales), el enlace limitante de la cobertura será el ascendente.

Nótese que las curvas de la gráfica de la izquierda son paralelas, dado que están expresadas en dBm y todos los términos de los correspondientes balances de potencia son iguales, con la salvedad de las potencias de transmisión de ambos enlaces. Dicha diferencia resulta de 13 dB.

Tomando $n=5$:

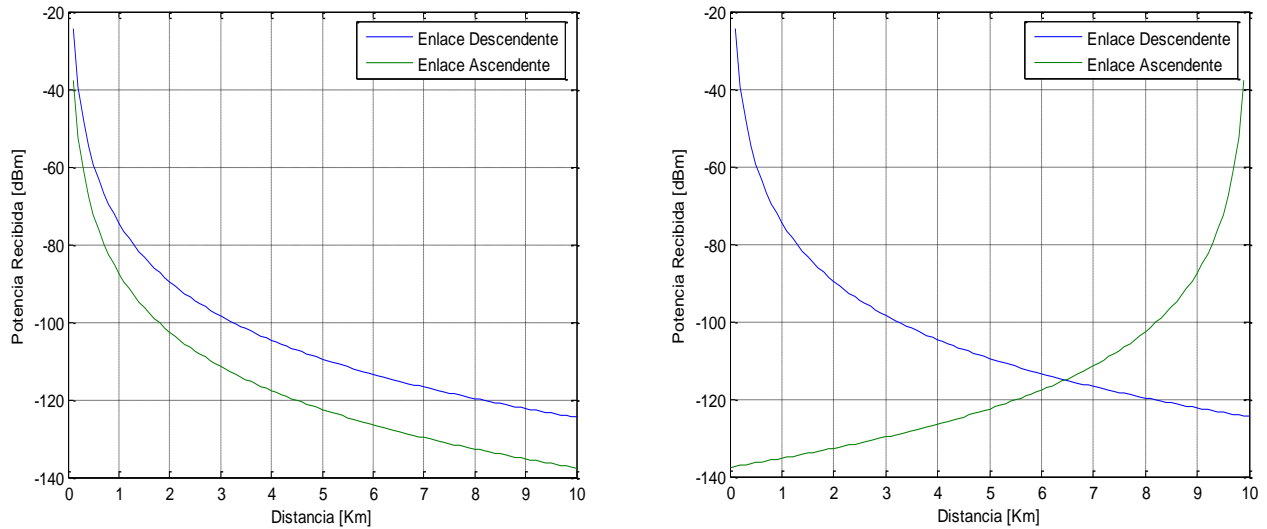


Figura 15: Balance de los Enlaces Ascendente y Descendente con coeficiente de pérdidas $n=5$.

Puede observarse en la comparativa de las gráficas de la izquierda que, en el caso de $n=5$, ambas curvas quedan por debajo de su correspondiente curva del caso de $n=3$, como consecuencia de la mayor atenuación que implica un coeficiente de pérdidas más elevado.

Lógicamente, la diferencia entre las curvas de ambos enlaces (13 dB) se mantiene en el caso de $n=5$, ya que el único término del balance que varía, las pérdidas de trayecto, afecta por igual a ambos con la distancia.

En la comparativa de gráficas de la derecha puede observarse que el punto de cruce varía, produciéndose más cerca del punto medio del trayecto en el caso de $n=5$. Conforme aumente el valor de n , el punto de cruce se irá desplazando hacia la izquierda, si bien, siempre quedará a la derecha del punto medio del trayecto (con los parámetros de trabajo empleados).

2.3. ANÁLISIS DE LA SNR EN LA REGIÓN DE COBERTURA

Salvo que se especifique lo contrario, los **Parámetros de Trabajo** que se emplearán en las simulaciones de este apartado son los siguientes, cuyos valores están basados, en buena medida, en una combinación de los incluidos en las recomendaciones GSM 03.03 [3] y GSM 05.05 [4]:

Enlace Descendente:

Frecuencia Central del Radiocanal: $f=1800$ MHz
 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente: $PIRE=53$ dBm
 Ganancia de la Antena del Terminal Móvil: $G_m=0$ dB
 Ancho de Banda Equivalente de Ruido del Receptor del Terminal Móvil: $B_{eq}=20$ MHz
 Factor de Ruido del Receptor del Terminal Móvil: $F=10$ dB
 Factor de Ruido de la Antena del Terminal Móvil: $F_{ant}=10$ dB

Enlace Ascendente:

Frecuencia Central del Radiocanal: $f=1800$ MHz
 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente: $PIRE=30$ dBm
 Ganancia de la Antena de la EB: $G_{EB}=10$ dB
 Ancho de Banda Equivalente de Ruido del Receptor de Canal de la EB: $B_{eq}=20$ MHz
 Factor de Ruido del Receptor de Canal de la EB: $F=8$ dB
 Factor de Ruido de la Antena de la EB: $F_{ant}=8$ dB
 Pérdidas del Multiacoplador de Antena de la EB: 3.5 dB

En ambos enlaces se empleará una distancia de referencia del modelo Log-Distancia:

$$d_0 = 100 \text{ metros.}$$

2.3.1. Región de Cobertura Circular

2.3.1.1. Población Uniformemente Distribuida a lo largo de un Radial

En este apartado se ha generado una población de móviles, de forma determinista, dispuestos uniformemente a lo largo de un radial de diez kilómetros de longitud, con origen en la posición de la Estación Base.

Se muestran las curvas de la $SNR(d)$ y de la Capacidad Binaria Máxima, en adelante $R(d)$ o $C(d)$, del Enlace Descendente para los distintos valores de n , en las gráficas izquierda y derecha siguientes, respectivamente:

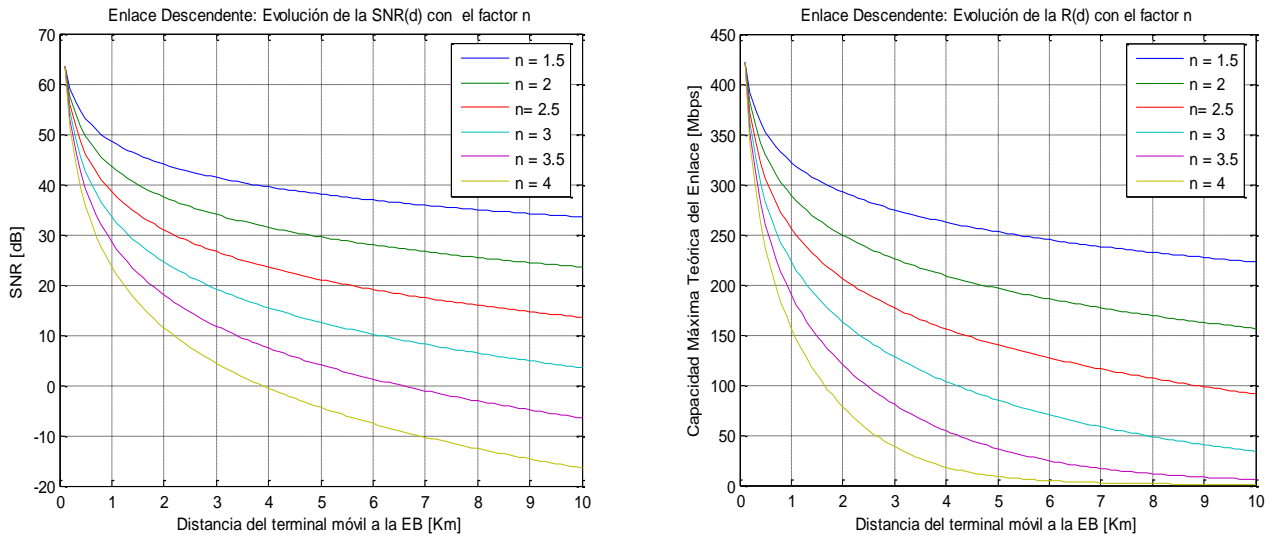


Figura 16: Curvas de SNR(d) y R(d) del Enlace Descendente, para distintos valores del coeficiente n .

En la siguiente figura se muestran las curvas de la SNR(d) (izquierda) y de R(d) (derecha) del Enlace Ascendente, para los distintos valores de n :

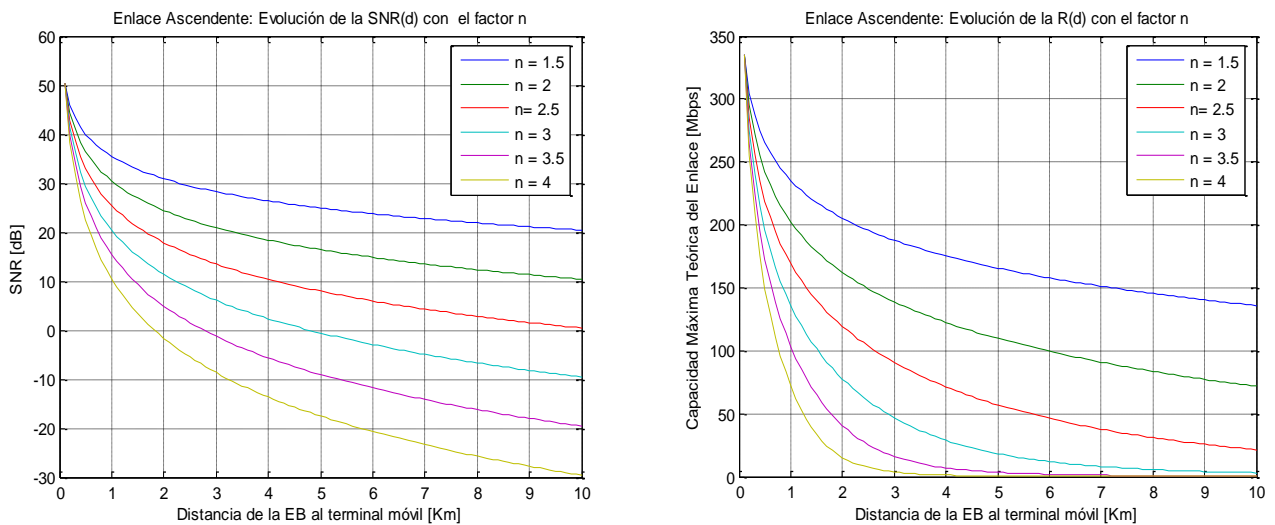


Figura 17: Curvas de SNR(d) y R(d) del Enlace Ascendente, para distintos valores del coeficiente n .

En la siguiente figura se muestran las gráficas de la Función de Distribución de Probabilidad Estimada³ de la SNR[dB], a lo largo del radial, de los enlaces descendente (izquierda) y ascendente (derecha), para los distintos valores de n :

³ Aunque la población se ha generado de forma determinista, se ha hecho emulando una distribución de probabilidad uniforme a lo largo del radial.

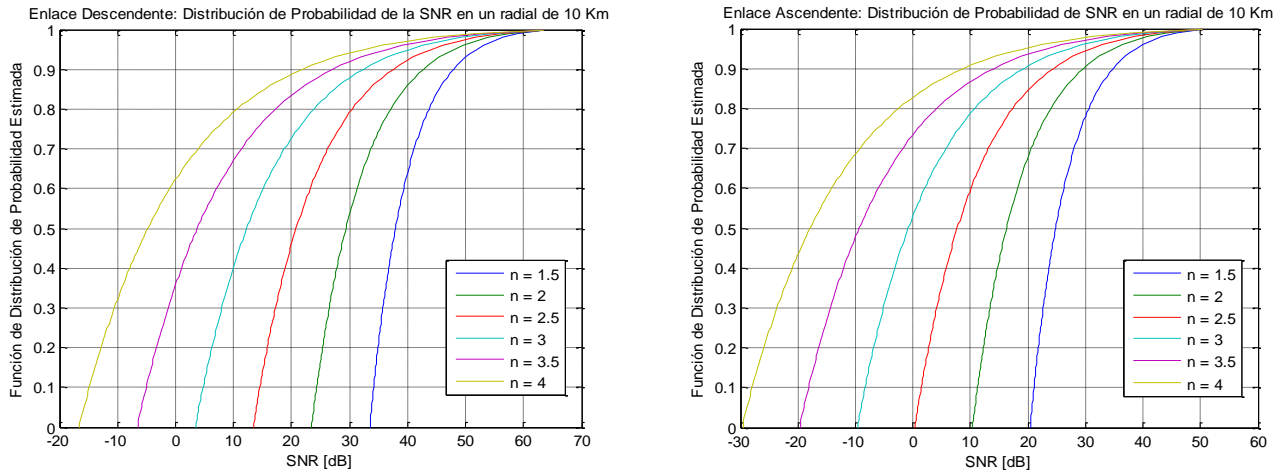


Figura 18: Función de Distribución de Probabilidad de la SNR(d) a lo largo de un radial de 10 Km.
(Enlaces Descendente y Ascendente)

2.3.1.2. Célula Circular Aislada

En las simulaciones de este apartado se generará, dentro de la región de cobertura de una célula, una población de móviles lo suficientemente grande para garantizar una buena definición de los histogramas y minimizar cualquier efecto inherente a la aleatoriedad del experimento. En esta ocasión, se han empleado 100.000 elementos (si bien, este número resulta irrelevante para el estudio), bajo la consideración de que no hay ningún móvil situado a una distancia inferior a d_0 de la Estación Base.

Salvo que se especifique lo contrario, en los experimentos se tomará un radio de cobertura de la célula $r=3\text{Km}$ y un coeficiente de pérdidas $n=3$, aplicado al Enlace Descendente.

2.3.1.2.1. Distribución de Población Uniforme en Distancia

En este apartado se ha generado, aleatoriamente, una población de móviles en la región de cobertura de la célula, situados a una distancia de la Estación Base que sigue una Distribución de Probabilidad Uniforme. Por otra parte, a fin de obtener una representación gráfica de su posición en la célula, se les ha asignado una posición angular (o azimuth) siguiendo, también, una distribución uniforme.

Dada la simetría del escenario considerado (célula circular aislada), resulta suficiente conocer la distancia a la Estación Base para caracterizar el enlace. De este modo, dado que la posición angular únicamente responde a razones gráficas, se hablará de Distribución de Población Uniforme en Distancia.

En la gráfica siguiente se muestra la población de móviles en la célula, donde cada punto representa la posición de un móvil dentro de la región de cobertura.

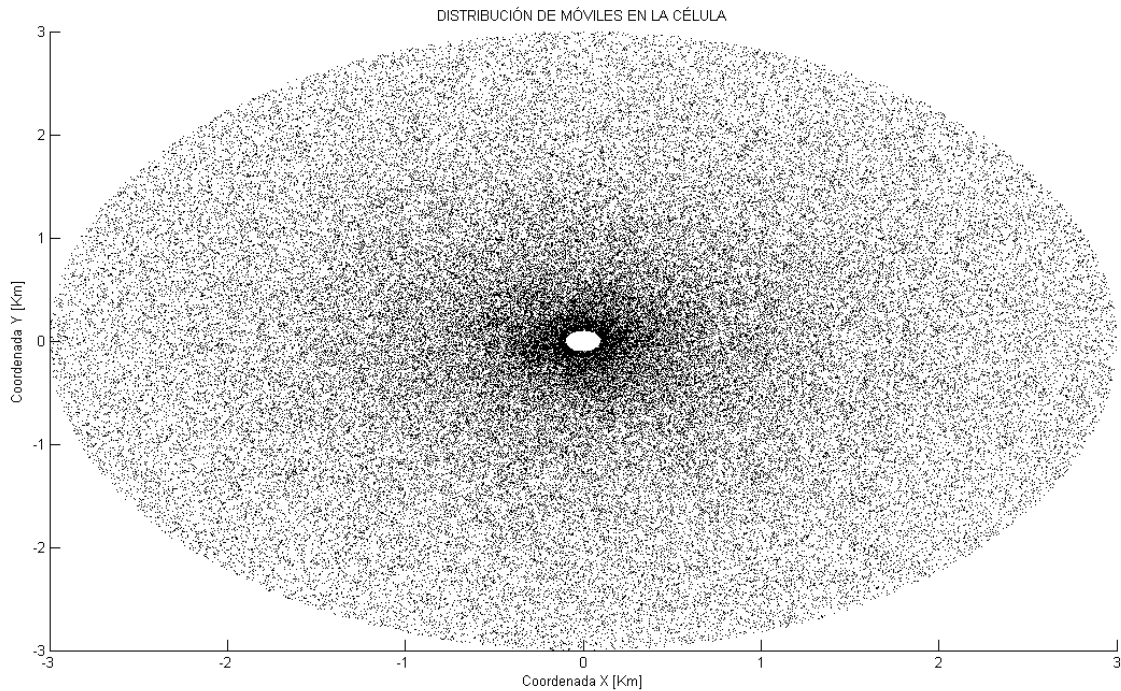


Figura 19: Población de móviles generada siguiendo una Distribución Probabilidad Uniforme en Distancia.

Puede observarse fácilmente que hay una mayor concentración de puntos en las inmediaciones de la Estación Base (salvando las distancias inferiores a d_0), haciéndose menos densa a medida que aumenta la distancia a la misma.

Los siguientes histogramas muestran la Distribución de la Población de móviles en la célula, en función de su distancia a la Estación Base (izquierda) y de su posición angular (derecha) en los ejes cartesianos, supuesta la Estación Base en el origen de coordenadas.

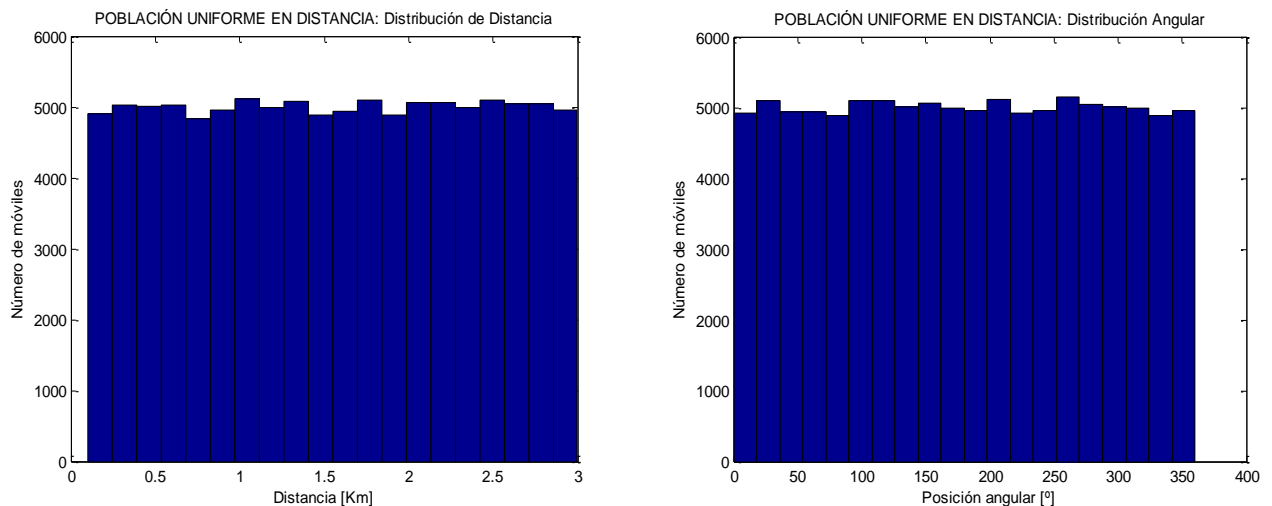


Figura 20: Histogramas de población de móviles en la célula sobre los ejes de coordenadas polares.

Las siguientes gráficas muestran la Distribución de Población de móviles en la célula en función de su SNR[dB]:

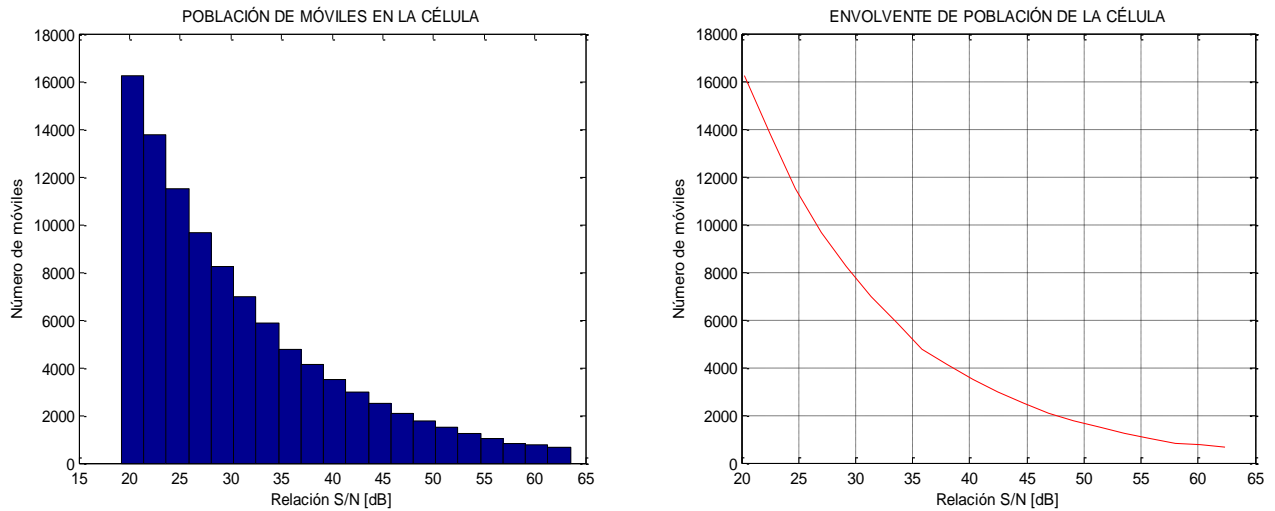


Figura 21: Distribución de población de los móviles según su SNR[dB].

Las gráficas anteriores muestran que la densidad de población de móviles, en función de la SNR, varía monótonamente, con una mayor concentración en los valores más bajos del rango, correspondientes a los puntos más alejados de la Estación Base.

En la siguiente gráfica de la izquierda puede comprobarse que la envolvente de población en función de la SNR[dB] resulta lineal cuando el número de móviles viene expresado en unidades logarítmicas:

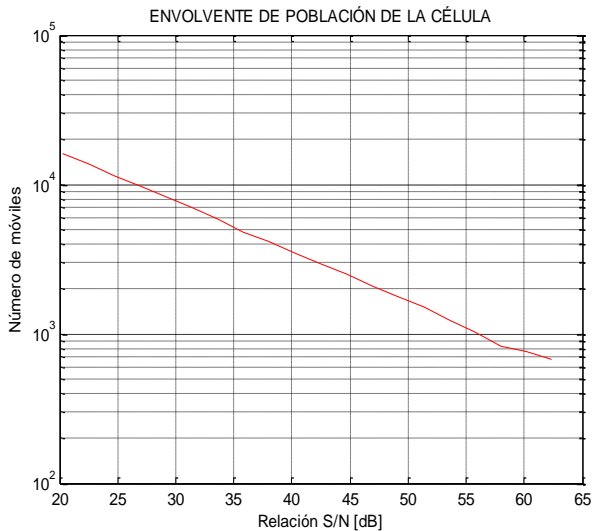


Figura 22:

Linealización de la Envolvente de la Fig. 21 (derecha).

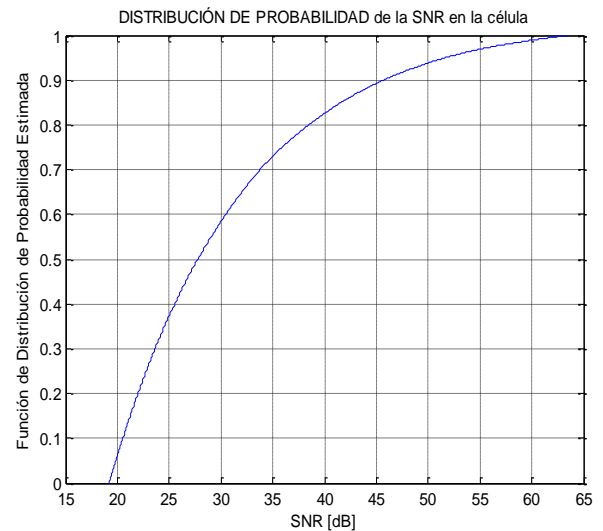


Figura 23:

CDF(SNR[dB]) en la célula.

Por su parte, en la gráfica de la derecha anterior se muestra la Función de Distribución de Probabilidad Estimada en función de la SNR[dB].

2.3.1.2.2. Población Uniformemente Distribuida

En este apartado se ha generado, aleatoriamente, una Población de Móviles Uniformemente Distribuida en la región de cobertura de la célula. Significa esto que la posición de los móviles dentro de la célula sigue una distribución aleatoria uniforme bidimensional. De este modo, se dirá también que se ha generado una Población de Móviles Uniforme en Posición.

En la gráfica siguiente se muestra la población de móviles en la célula, donde cada punto representa la posición de un móvil dentro de la región de cobertura.

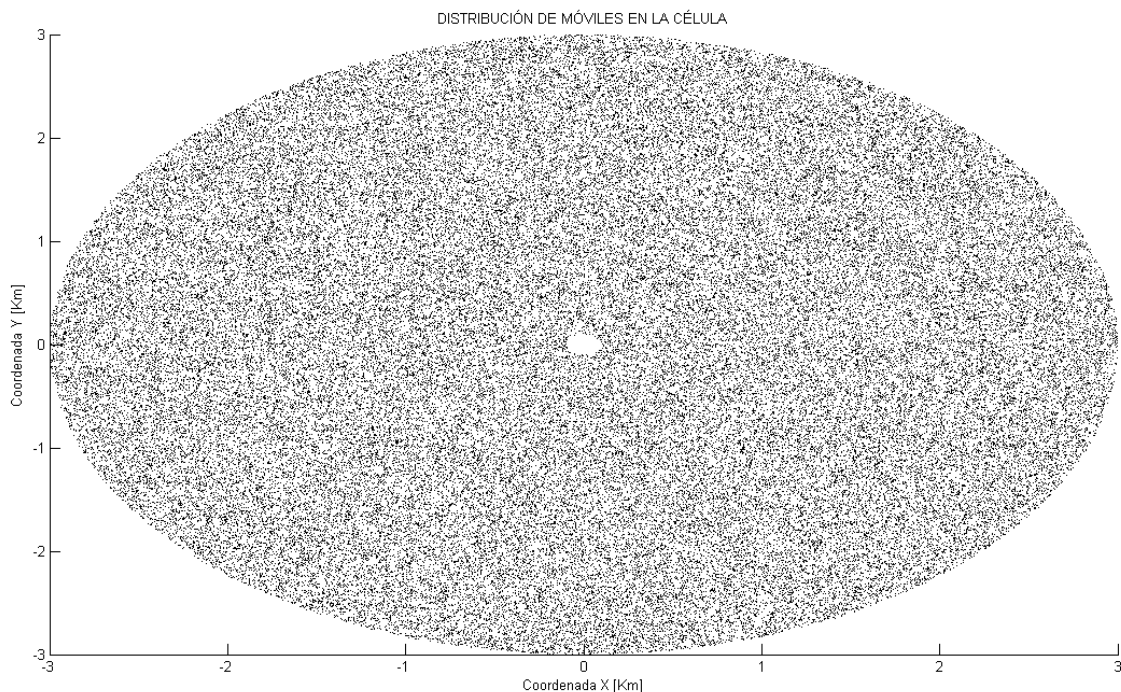


Figura 24: Población de móviles generada siguiendo una Distribución de Probabilidad Uniforme en Posición.

En esta ocasión, puede observarse que la nube de puntos resulta homogénea en toda la región de cobertura de la célula.

Los siguientes histogramas muestran la Distribución de la Población de móviles en la célula, en función de su distancia a la Estación Base (izquierda) y de su posición angular (derecha) en los ejes cartesianos, supuesta la Estación Base en el origen de coordenadas.

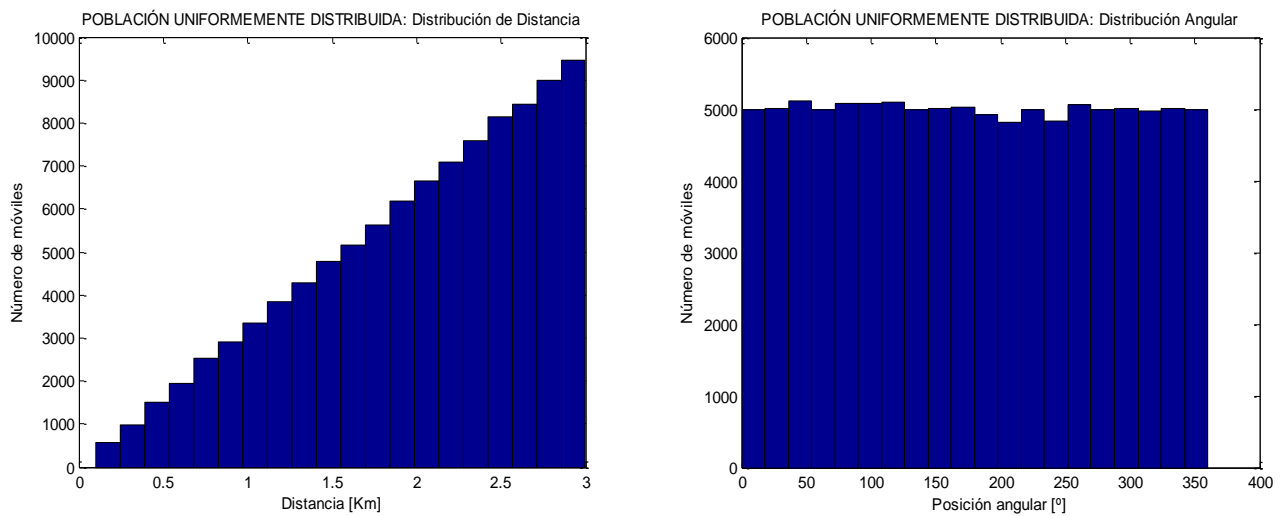


Figura 25: Histogramas de población de móviles en la célula sobre los ejes de coordenadas polares.

Las siguientes gráficas muestran la Distribución de Población de móviles en la célula en función de su SNR[dB]:

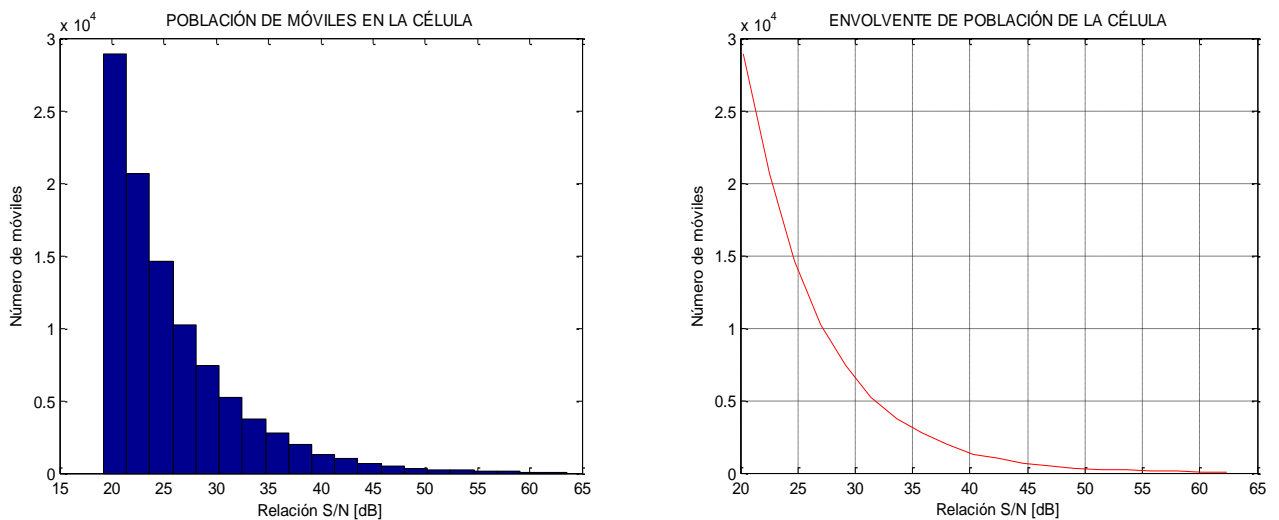
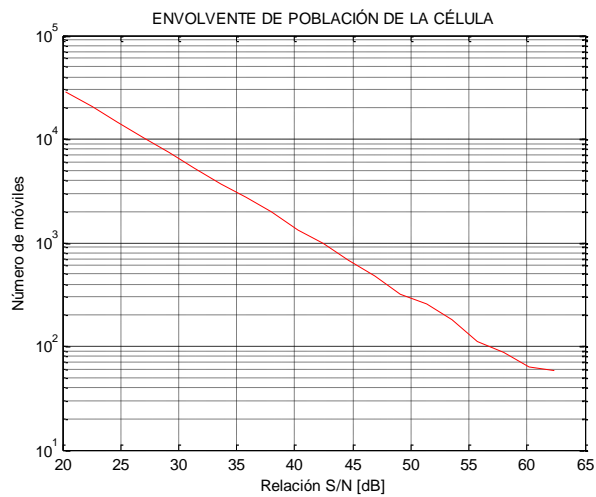


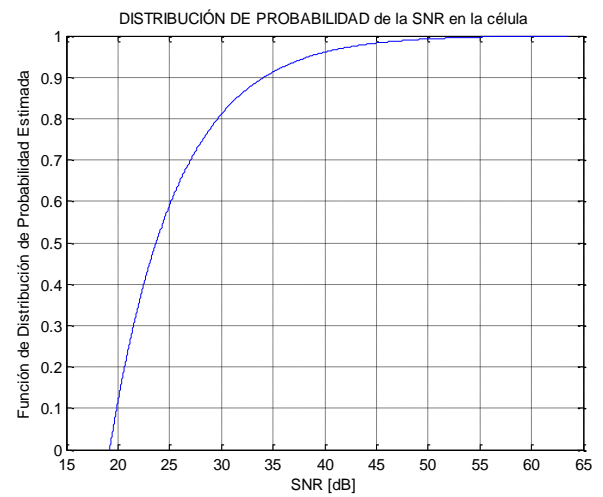
Figura 26: Distribución de población de los móviles según su SNR[dB].

Al igual que en el caso anterior, las gráficas muestran que la densidad de población de móviles, en función de la SNR, varía monótonamente, con una mayor concentración en los valores más bajos del rango, correspondientes a los puntos más alejados de la Estación Base.

En la siguiente gráfica de la izquierda puede comprobarse que la envolvente de población en función de la SNR[dB] resulta lineal cuando el número de móviles viene expresado en unidades logarítmicas:

**Figura 27:**

Linealización de la Envolvente de la Fig. 26 (derecha).

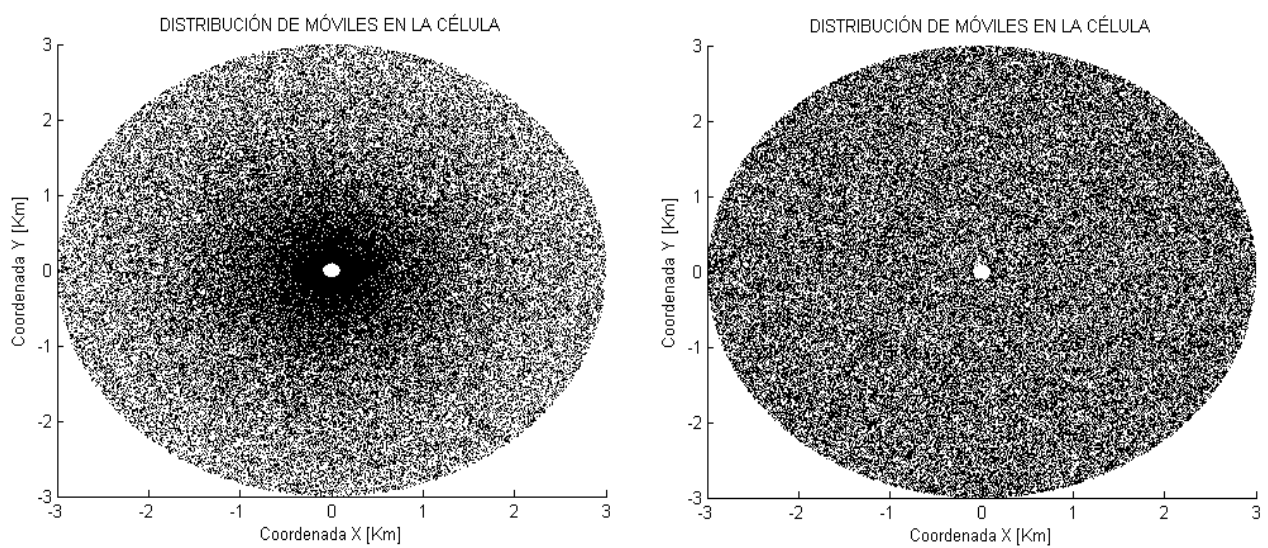
**Figura 28:**

CDF(SNR[dB]) en la célula.

Por su parte, en la gráfica de la derecha anterior se muestra la Función de Distribución de Población Estimada en función de la SNR[dB].

2.3.1.2.3. Comparativa de Distribución de Poblaciones

En la figura siguiente se muestra la comparativa de la distribución de población de móviles dentro de la región de cobertura de la célula, para el caso Uniforme en Distancia (izquierda) y Uniforme en Posición (derecha), de los apartados anteriores:

**Figura 29:** Comparativa de Poblaciones Uniforme en Distancia y Uniforme en Posición.

Puede observarse que el caso de Distribución de Población Uniforme en Distancia presenta una mayor concentración de puntos en las inmediaciones de la Estación Base que el caso de Distribución Uniforme en Posición, a la vez que, éste último, una mayor concentración que el primero en las inmediaciones del borde de la región de cobertura.

La comparativa de los histogramas de distribución de población de móviles en función de la SNR, presentados en los apartados anteriores, muestra que la envolvente de población crece más rápido, conforme aumenta la distancia a la Estación Base (o disminuye la SNR), en el caso de Distribución Uniforme en Posición.

Esta diferencia puede observarse fácilmente en la comparativa de las envolventes de población linealizadas, obtenidas en los casos de Distribución Uniforme en Distancia (izquierda) y de Distribución Uniforme en Posición (derecha):

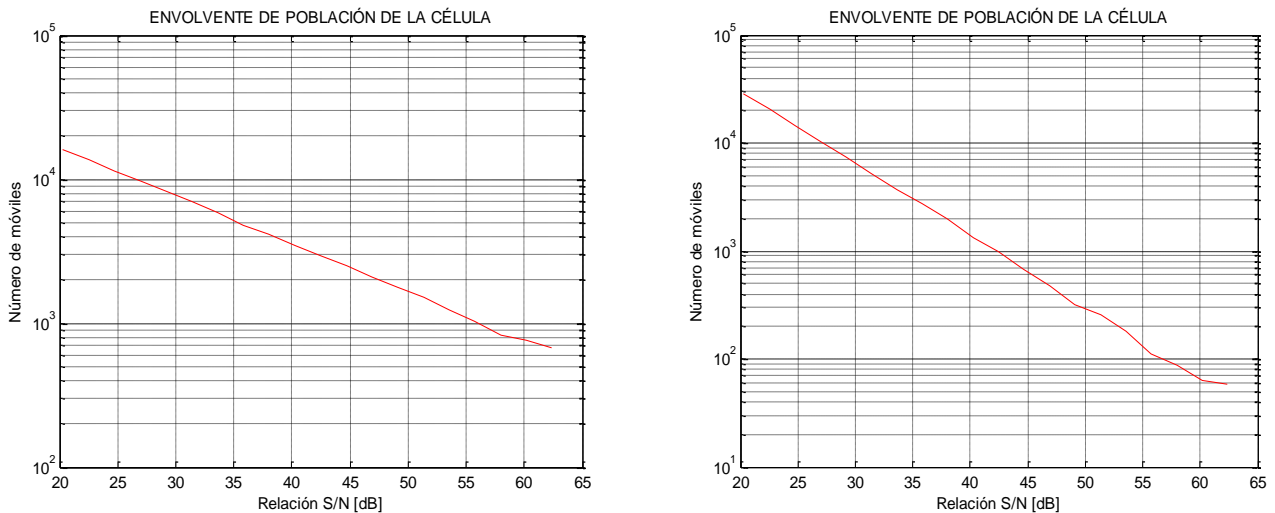
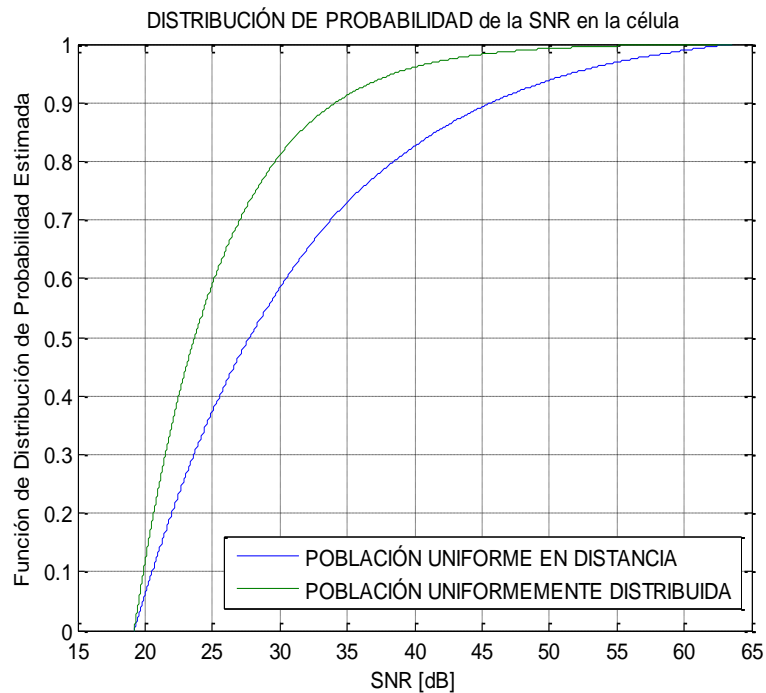


Figura 30: Comparativa de Envolventes de las Poblaciones Uniforme en Distancia y Uniforme en Posición.

Observando la escala del eje de ordenadas, se comprueba que la pendiente es considerablemente mayor en el caso de la Distribución Uniforme en Posición, siendo la diferencia en el rango numérico de dicho eje, entre ambos casos, de algo más de un orden de magnitud para el rango de la SNR.

La gráfica siguiente muestra, de forma conjunta, la curva de $CDF(SNR)$ obtenida en ambos casos. Coherentemente con lo comentado en los párrafos precedentes, se observa que la Función de Distribución de Probabilidad crece de forma más suave en el caso de Distribución de Población Uniforme en Distancia.

**Figura 31:**

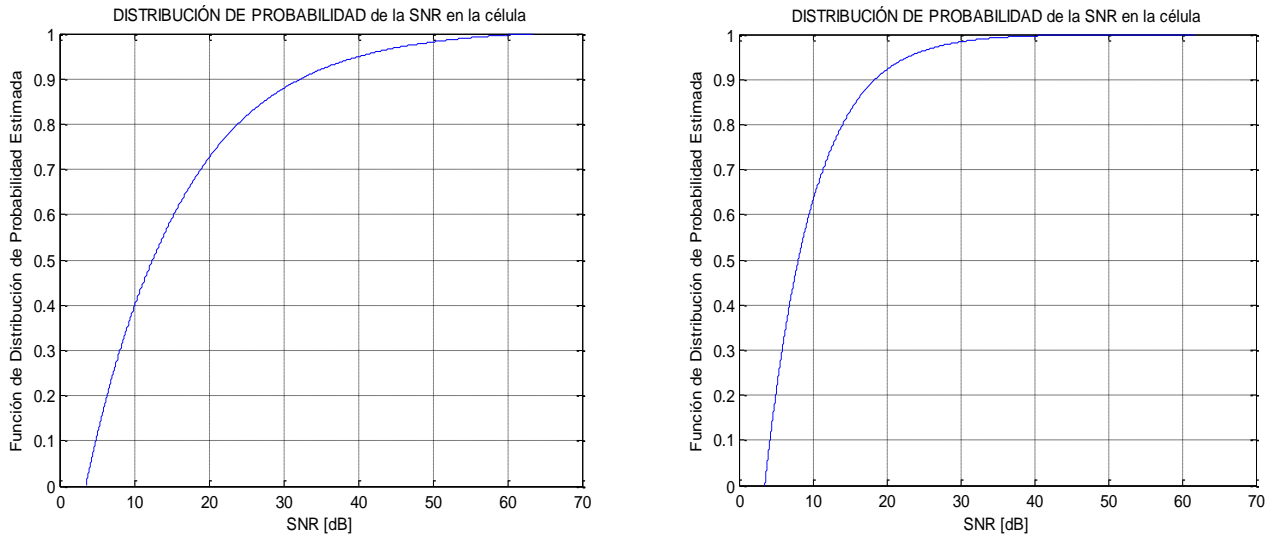
Comparativa de $CDF(SNR[dB])$ de las Poblaciones Uniforme en Distancia y Uniforme en Posición, con $r=3$ Km.

Ambas curvas de distribución de probabilidad arrancan y concluyen en el mismo punto, como resulta lógico, ya que ambas distribuciones de población, en mayor o menor medida, dan lugar a que haya móviles posicionados a una misma distancia cualesquiera de la Estación Base, dentro del radio de cobertura.

Esta gráfica revela, al igual que la comparativa de los histogramas de distribución de población de móviles en función de la SNR, que la distribución que da lugar a una mayor probabilidad de valores bajos de SNR es la Población Uniformemente Distribuida, lo que se corresponde con la apreciación, hecha al principio de este apartado, de que, de las dos, es la distribución que da lugar a una mayor concentración de móviles en las inmediaciones del borde de la región de cobertura.

A continuación, se va a repetir el experimento tomando, en esta ocasión, un radio de cobertura de la célula $r=10$ Km.

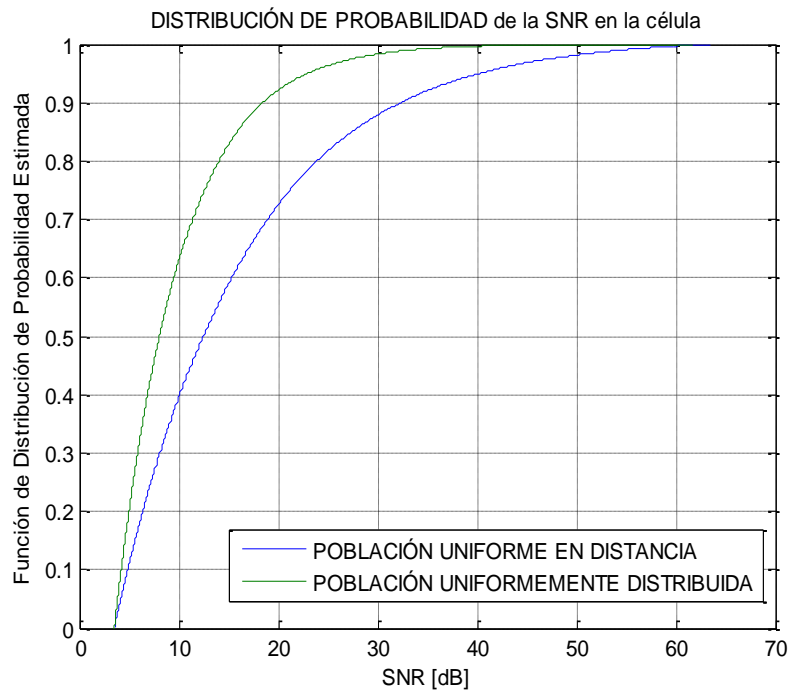
En la figura siguiente se muestra la Función de Distribución de Probabilidad Estimada en la región de cobertura, en función de la SNR en el terminal móvil, para los casos de Distribución de Población Uniforme en Distancia (izquierda) y Distribución de Población Uniforme en Posición (derecha):

**Figura 32:**

$CDF(SNR[dB])$ para las Poblaciones Uniforme en Distancia y Uniforme en Posición, con $r=10$ Km.

Nótese que la gráfica de la izquierda resulta idéntica a la curva de $n=3$ obtenida en el caso de la población uniformemente distribuida a lo largo de un radial de 10 Km desde la Estación Base, como cabía esperar.

Unificando las dos gráficas anteriores en una sola gráfica, resulta:

**Figura 33:**

Comparativa de $CDF(SNR[dB])$ de las Poblaciones Uniforme en Distancia y Uniforme en Posición, con $r=10$ Km.

La comparativa minuciosa de la gráfica anterior con la resultante en el caso de $r=3$ Km, revela que la separación (en abscisas) entre ambas curvas se hace mayor en el caso de $r=10$ Km. Este resultado es lógico, ya que el rango de valores de SNR es mayor en éste último caso, según puede comprobarse en la correspondiente gráfica de $SNR(d)$ del apartado 2.3.1.1, al obtenerse valores más bajos conforme aumenta d .

Así, en el primer caso se estimó una separación máxima de las curvas de 13.54 dB, mientras que, en el segundo, de 21.36 dB.

Cabe preguntarse también cómo varía esta separación en función de n , para un mismo radio de cobertura. Para determinarlo, se va a repetir el experimento, con distintos radios de cobertura y coeficientes n , conforme a la tabla siguiente:

	n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
r							
200 m		0.40	0.52	0.68	0.76	0.89	1.09
3 Km		6.80	9.09	11.11	13.69	16.21	17.86
6 Km		8.94	11.95	15.03	18.13	21.21	23.88

Tabla 1:

Separación máxima (dB) entre las $CDF(SNR[dB])$ de las Poblaciones Uniformes en Distancia y en Posición.

En cada casilla de la tabla se indica, para un r y n dados, la separación máxima, en abscisas, estimada⁴ entre la curva de $CDF(SNR)$ de una y otra distribución, expresada en dB.

A la luz de la gráfica anterior, se concluye que, conforme aumenta el coeficiente n , aumenta la separación máxima (en abscisas) entre las curvas de $CDF(SNR)$ de una y otra distribución de población, aumentando, con ello, la diferencia de valor de SNR que da lugar a la misma probabilidad acumulada en ambas distribuciones. Por otra parte, se confirma el resultado ya observado, para $n=3$, en la comparativa entre $r=3$ Km y $r=10$ Km: conforme aumenta el radio de cobertura r , aumenta la separación de las curvas de $CDF(SNR)$ entre una y otra distribución.

Puede comprobarse en la gráfica correspondiente de $SNR(d)$ del apartado 2.3.1.1 que el rango de valores de SNR aumenta conforme aumenta d o n , lo que explica el resultado anterior.

Significa esto que, asumiendo n o r elevados, habrá que prestar mayor atención al tipo de distribución de población que hay en las células, a la hora de la elección del escenario de red celular más adecuado.

⁴ Se habla de separación máxima *estimada*, ya que el valor concreto obtenido depende de cada realización particular del experimento, dada la naturaleza aleatoria de las poblaciones generadas. En todo caso, el número de móviles empleado en las simulaciones es tan elevado que la diferencia en el valor medido, entre dos realizaciones cualesquiera, viene a ser, como mucho, de alguna decena de dB.

En la figura siguiente se muestran las curvas de $CDF(SNR)$ de los distintos n , en el caso de Distribución de Población Uniforme en Distancia (izquierda) y Población Uniformemente Distribuida (derecha), para la célula de $r=3$ Km:

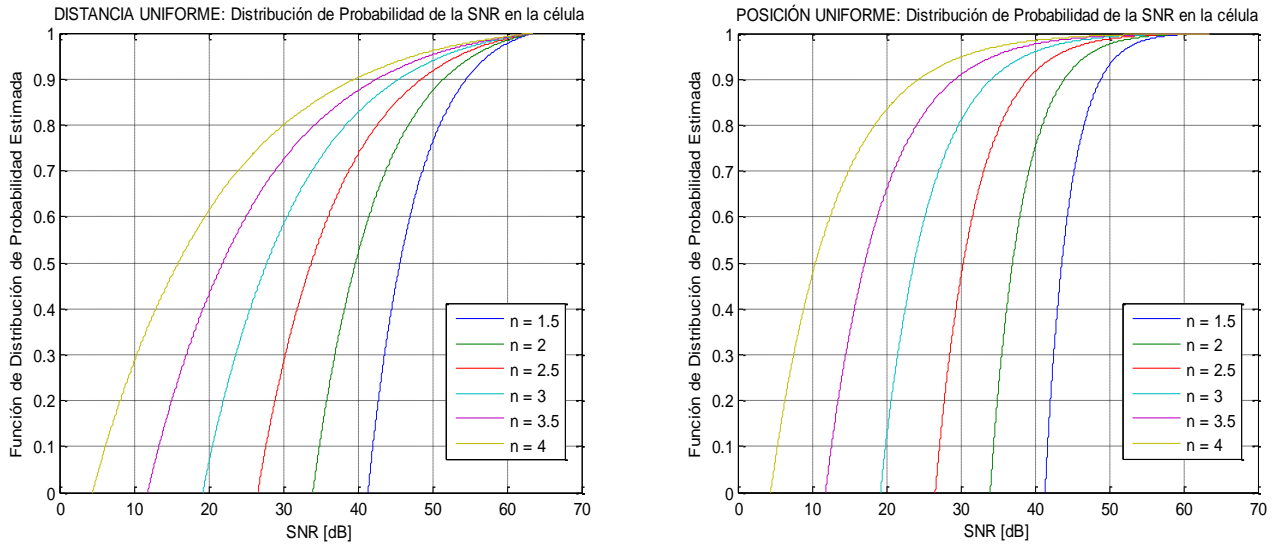


Figura 34:

Comparativa de $CDF(SNR[dB])$ de las Poblaciones Uniformes en Distancia y en Posición, en la célula de $r=3$ Km.

Representando las curvas de ambas distribuciones en una misma gráfica, resulta:

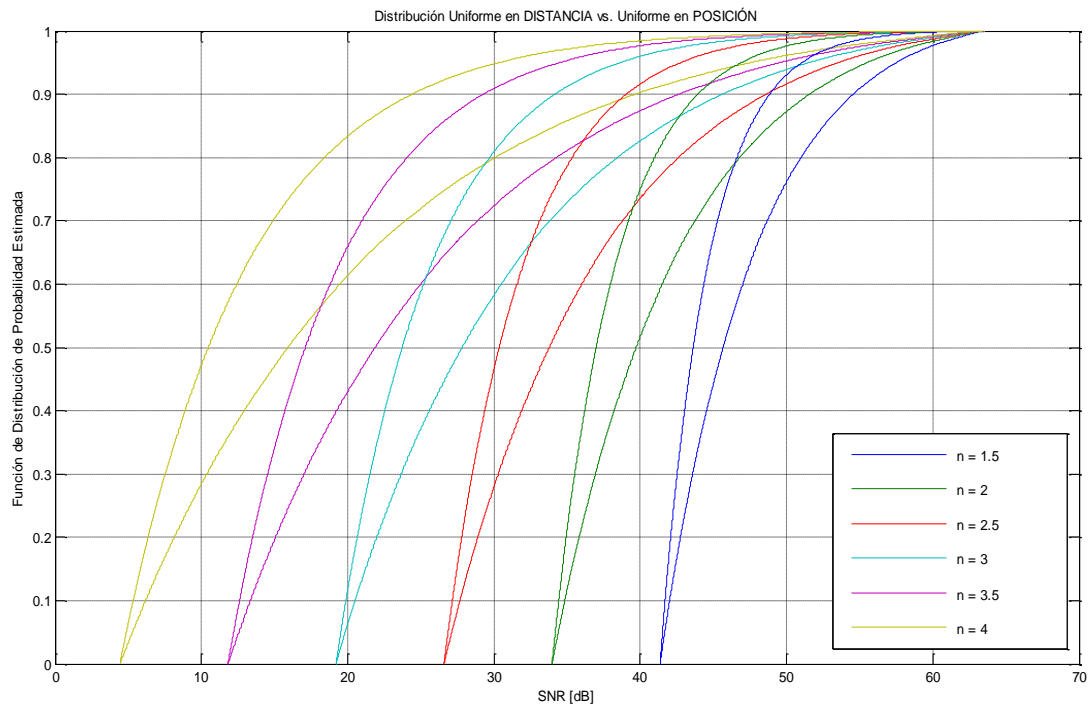


Figura 35: Representación conjunta de las $CDF(SNR[dB])$ de las dos gráficas de la Figura 34.

En la figura siguiente se muestran las envolventes de los histogramas de distribución de población de la célula en función de la SNR en el terminal móvil, para los distintos n , en el caso de Distribución de Población Uniforme en Distancia (izquierda) y Población Uniformemente Distribuida (derecha):

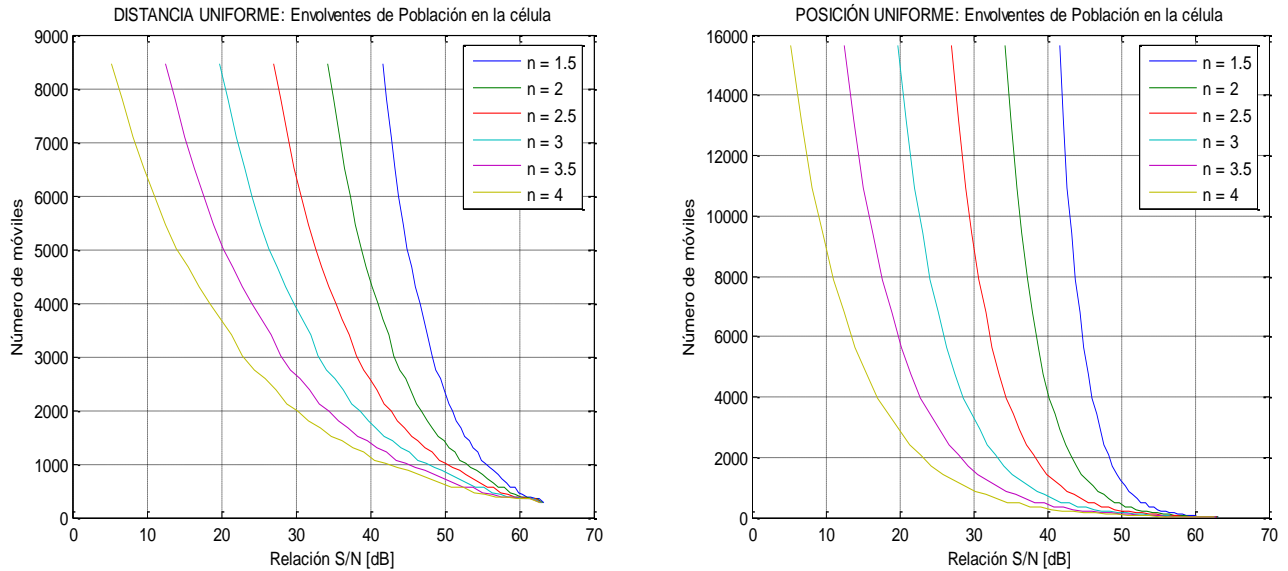


Figura 36:

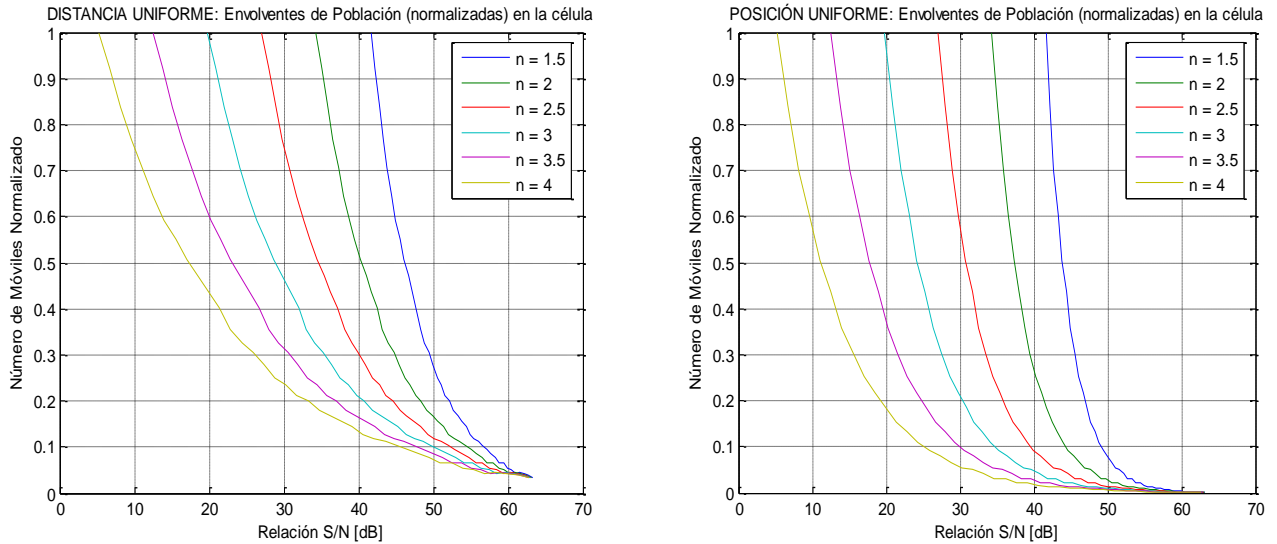
Comparativa de Envolventes de Población de las Distribuciones Uniforme en Distancia y Uniforme en Posición.

Llama la atención, de la comparativa de gráficas anterior, la diferente forma en que las envolventes de población alcanzan el valor máximo de SNR del rango. En el caso de la población uniformemente distribuida (derecha) las curvas alcanzan dicho valor aproximándose asintóticamente a cero móviles. Por el contrario, en el caso de la distribución de población uniforme en distancia (izquierda), las curvas no convergen en cero en el extremo superior del rango de SNR, sino en otro valor cercano, que dependerá del tamaño de la población y de la granularidad de las barras empleadas en los histogramas.

De aquí en adelante, se trabajará con la envolvente de población normalizada, es decir, la resultante de normalizar la amplitud de las barras del histograma respecto de la amplitud máxima del mismo.

En el caso de representar las envolventes de los distintos n en una misma gráfica, la normalización se efectuará respecto de la amplitud máxima alcanzada en el conjunto de los histogramas.

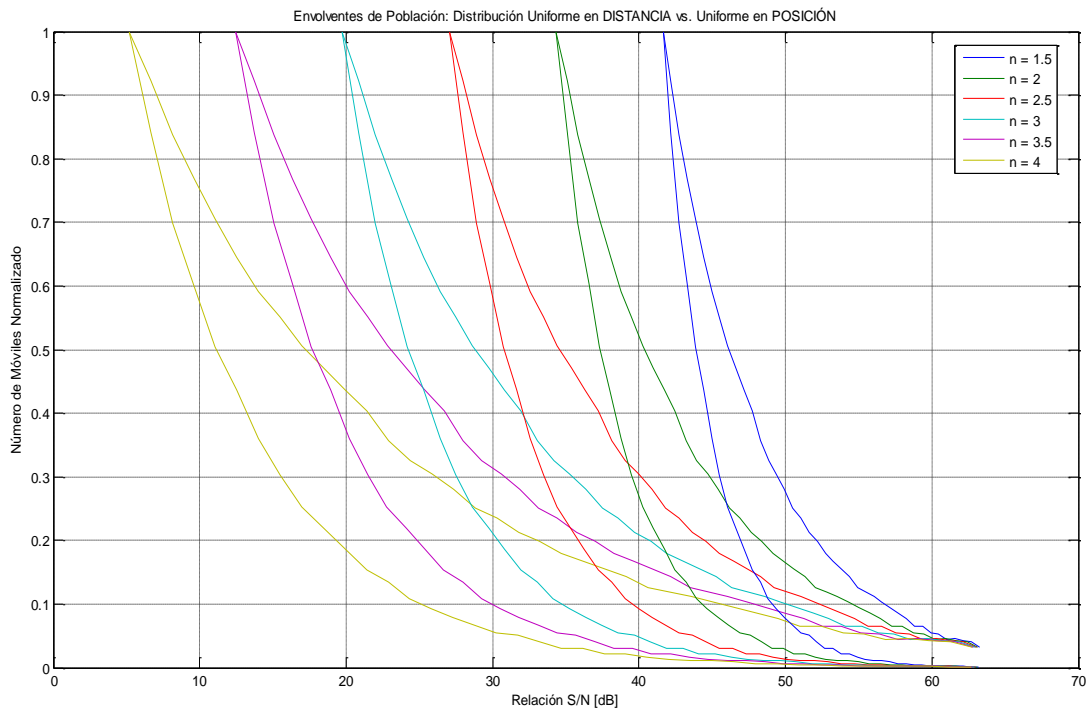
A continuación, se muestran las envolventes de población normalizadas en función de la SNR, en el caso de Distribución de Población Uniforme en Distancia (izquierda) y Población Uniformemente Distribuida (derecha):

**Figura 37:**

Comparativa de Envolventes de Población Normalizadas de las distribuciones de la Figura 36.

Conviene subrayar que, tanto en un caso, como en otro, las curvas de los distintos n son monótonas en todo su rango de SNR y alcanzan todas la misma amplitud máxima. Se observa también que la pendiente de las envolventes de población normalizadas, en ambos casos, se hace mayor a medida que disminuye el n .

Representando las envolventes de población normalizadas de ambas distribuciones en una misma gráfica, resulta:

**Figura 38:**

Representación conjunta de las Envolventes de Población Normalizadas de las dos gráficas de la figura 37.

La gráfica anterior pone de manifiesto que los máximos de las envolventes de población en función de la SNR no varían su posición de una distribución a otra.

Esto significa que, aunque en el caso de la distribución uniforme en distancia la densidad de puntos en el borde es menor que en el caso de la distribución uniforme en posición, si se toma un anillo finito definido por un rango de valores de SNR, **expresados en dB**, que tenga como límite inferior el valor de SNR en el borde y como límite superior el de cualquier otro punto más cercano a la EB, contiene más puntos que cualquier otro anillo concéntrico de la célula definido por un rango de la misma anchura.

En definitiva, se concluye que, en ambas distribuciones, el mayor número de móviles de la población se concentra hacia el valor más bajo del rango de SNR.

Según se observa en la comparativa, la pendiente de las envolventes de población varía de forma más suave en el caso de la distribución de población uniforme en distancia. Por su parte, en el caso de la población uniformemente distribuida, los valores más bajos del rango de SNR cobran especial predominancia sobre el conjunto de la población de móviles (sin perjuicio de que sean también los más frecuentes en el caso de la distribución de población uniforme en distancia).

2.3.2. Región de Cobertura Hexagonal Regular

Hasta ahora se ha considerado región de cobertura circular en el estudio de la SNR, bajo la consideración de que la célula se encuentra aislada.

En este apartado se va a contemplar el caso de que la célula forme parte de un panal de red hexagonal regular, es decir, el caso de la célula hexagonal inscrita en el círculo de la simulación anterior, aplicado al Enlace Descendente.

Se generará el mismo número de móviles de las simulaciones precedentes dentro del radio de cobertura ($r=3$ Km), si bien, algunos quedarán fuera del hexágono regular, es decir, de la región de cobertura.

2.3.2.1. Distribución de Población Uniforme en Distancia

A continuación, se muestran los histogramas de distribución de población en la célula, en función de la SNR, para $n=2$ (izquierda) y $n=3$ (derecha):

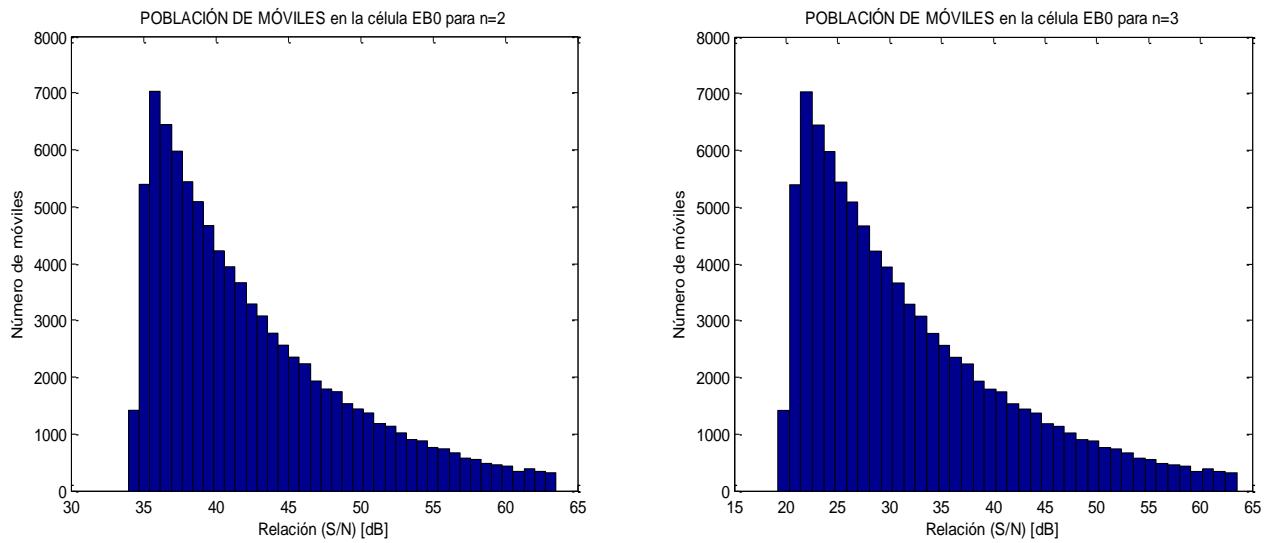


Figura 39: Distribución de Población en la célula, en función de la SNR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Se observa que aparece una rampa muy abrupta en la izquierda de los histogramas, que no existía en el caso de la célula circular aislada.

Las envolventes normalizadas de los histogramas anteriores serían las siguientes:

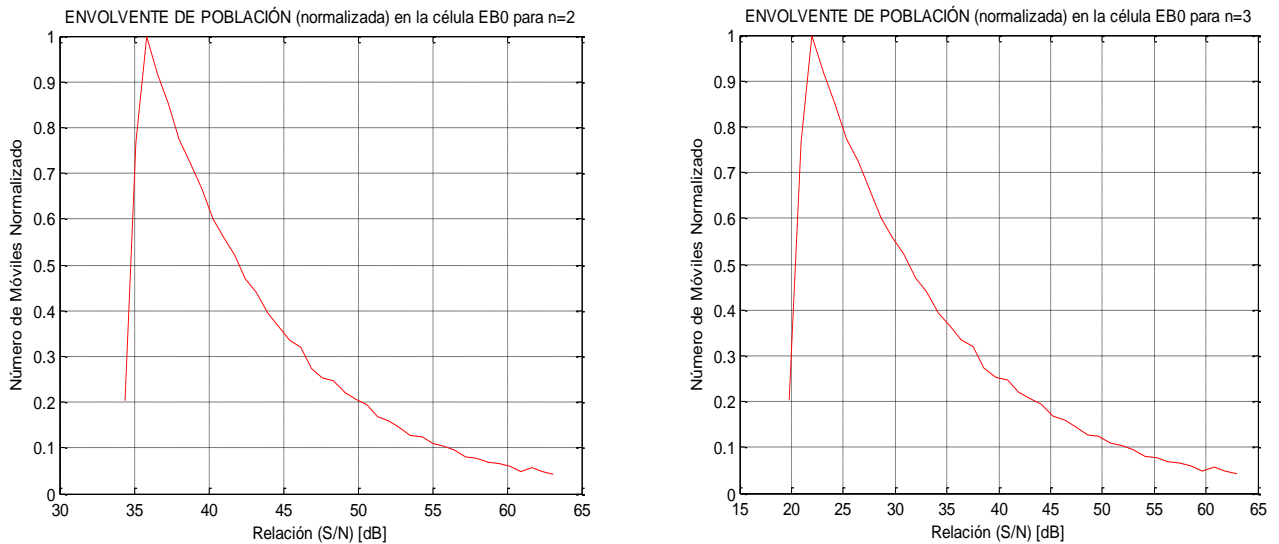
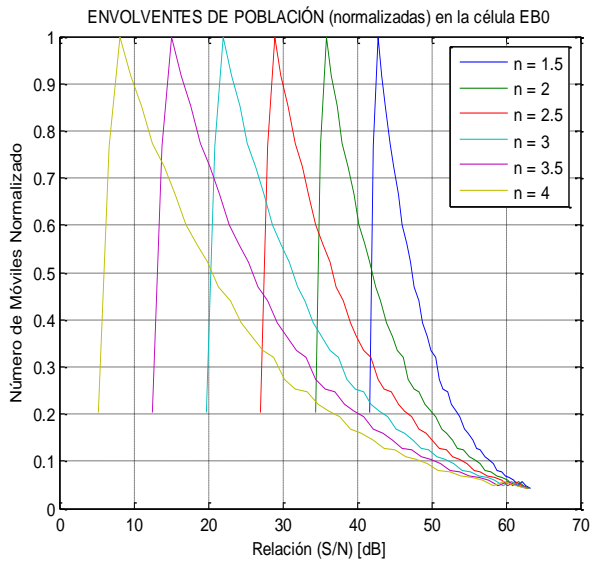
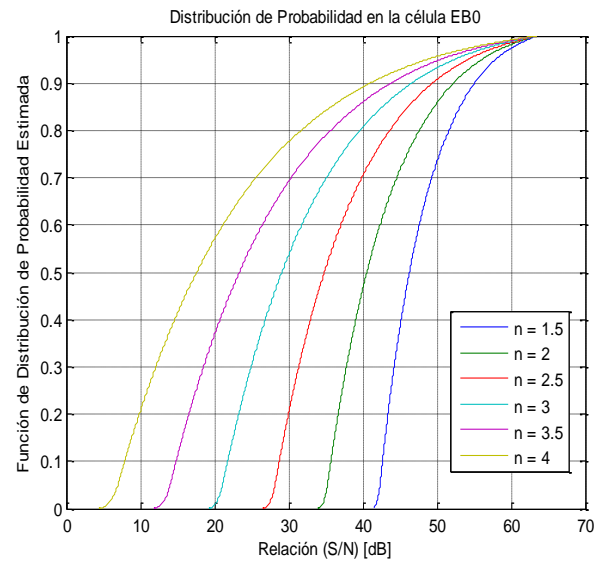


Figura 40: Envolventes de Población en la célula, en función de la SNR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Para comparar los histogramas de los distintos valores de n , en la gráfica de la izquierda siguiente se representan de forma conjunta las envolventes resultantes. Por su parte, en la gráfica de la derecha se muestra la Función de Distribución de Probabilidad Estimada de la SNR en la célula, para distintos valores de n .

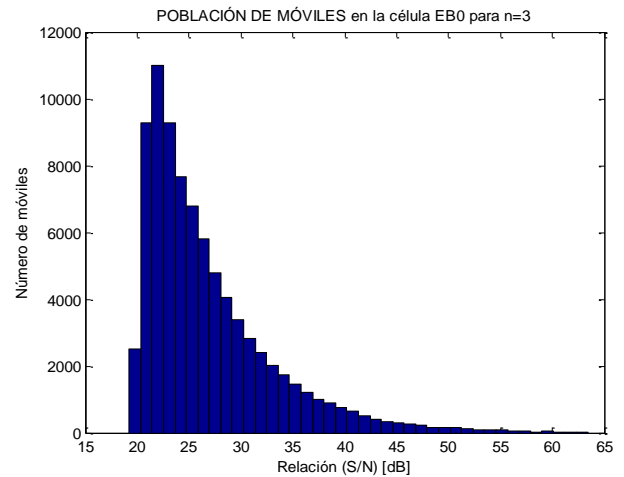
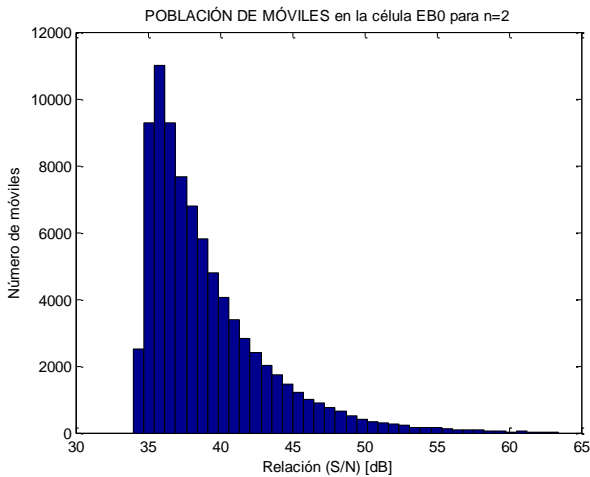
**Figura 41:**

Envolventes de Población en función de la SNR[dB].

**Figura 42:**CDF($SNR[dB]$) en la célula.

2.3.2.2. Población Uniformemente Distribuida

A continuación, se muestran los histogramas de distribución de población en la célula, en función de la SNR, para $n=2$ (izquierda) y $n=3$ (derecha):

**Figura 43:** Distribución de Población en la célula, en función de la SNR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Al igual que en el caso anterior, se observa que aparece una rampa muy abrupta en la izquierda de los histogramas, que no existía en el caso de la célula circular aislada.

Las envolventes normalizadas de los histogramas anteriores serían las siguientes:

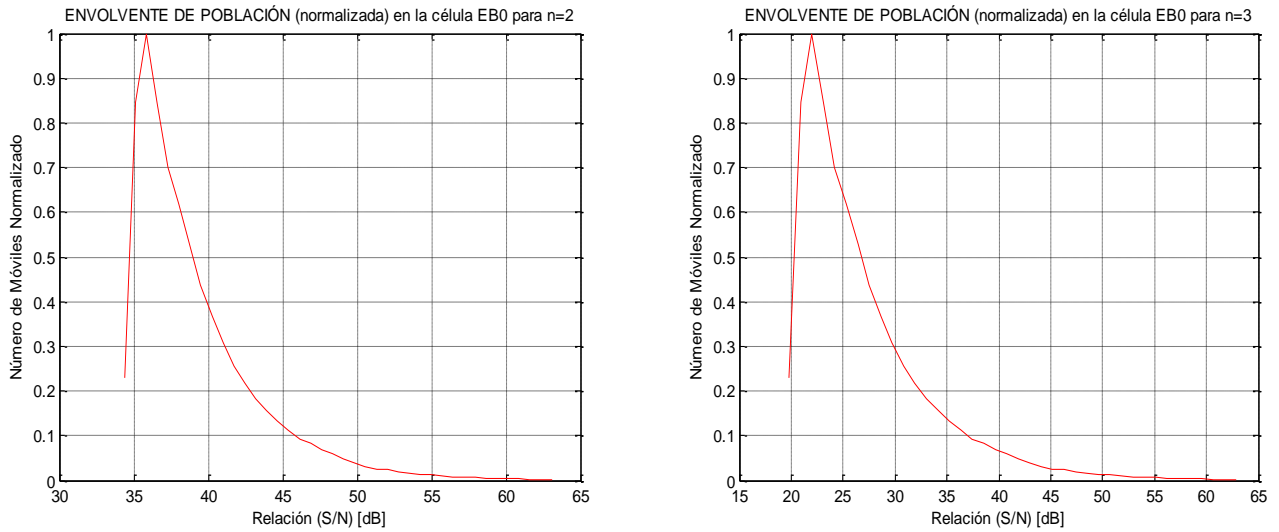


Figura 44: Envolventes de Población en la célula, en función de la SNR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Para comparar los histogramas de los distintos valores de n , en la gráfica de la izquierda siguiente se representan de forma conjunta las envolventes resultantes. Por su parte, en la gráfica de la derecha se muestra la Función de Distribución de Probabilidad Estimada de la SNR en la célula, para distintos valores de n .

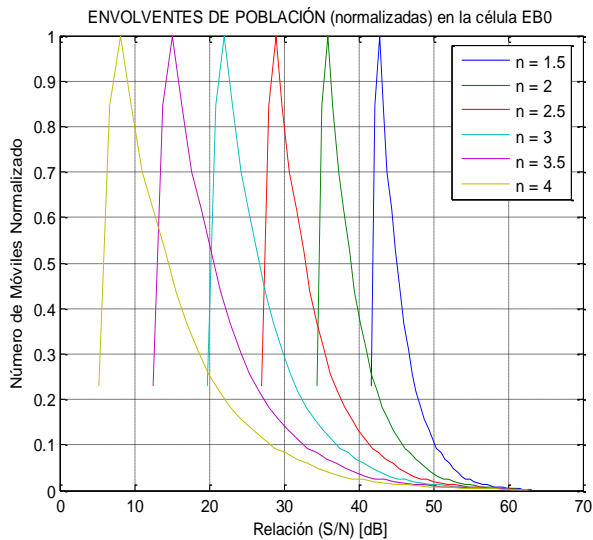


Figura 45:
Envolventes de Población en función de la SNR[dB].

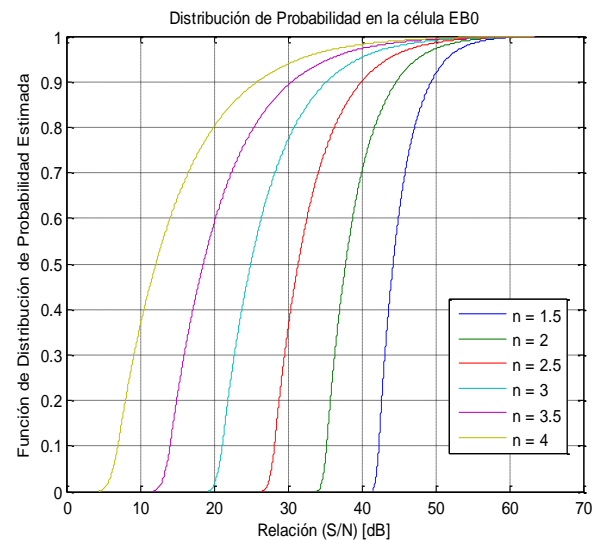


Figura 46:
CDF(SNR[dB]) en la célula.

2.3.2.3. Comparativa de Distribuciones de Población

Representando las curvas de $CDF(SNR)$ de ambas distribuciones, para los distintos n , en una misma gráfica, resulta:

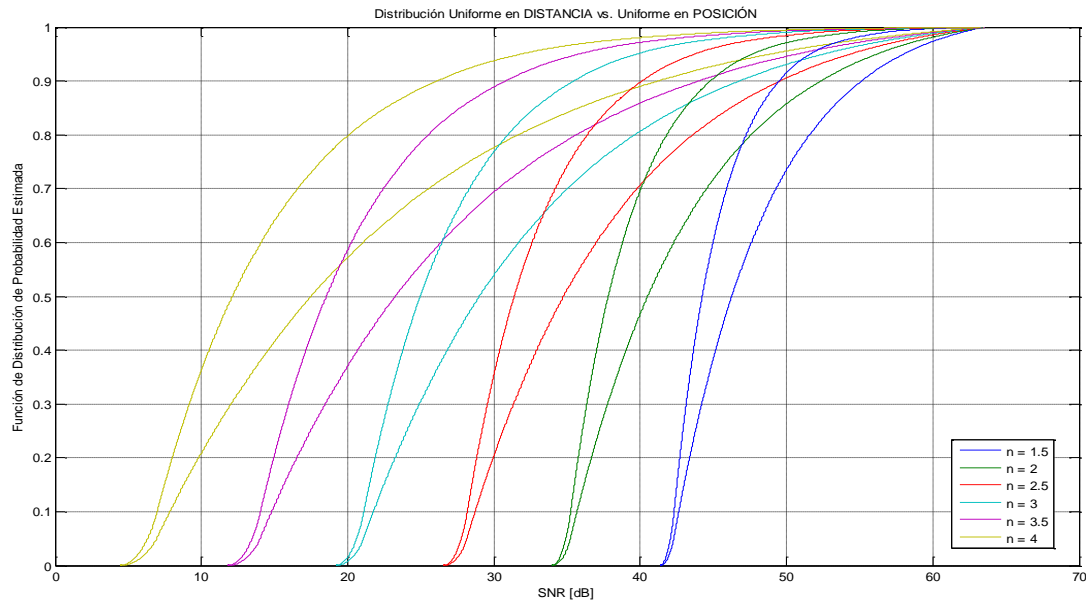


Figura 47:

Representación conjunta de las $CDF(SNR[dB])$ con Distribuciones Uniforme en Distancia y Uniforme en Posición.

Representando las envolventes de población normalizadas de ambas distribuciones, para los distintos n , en una misma gráfica, resulta:

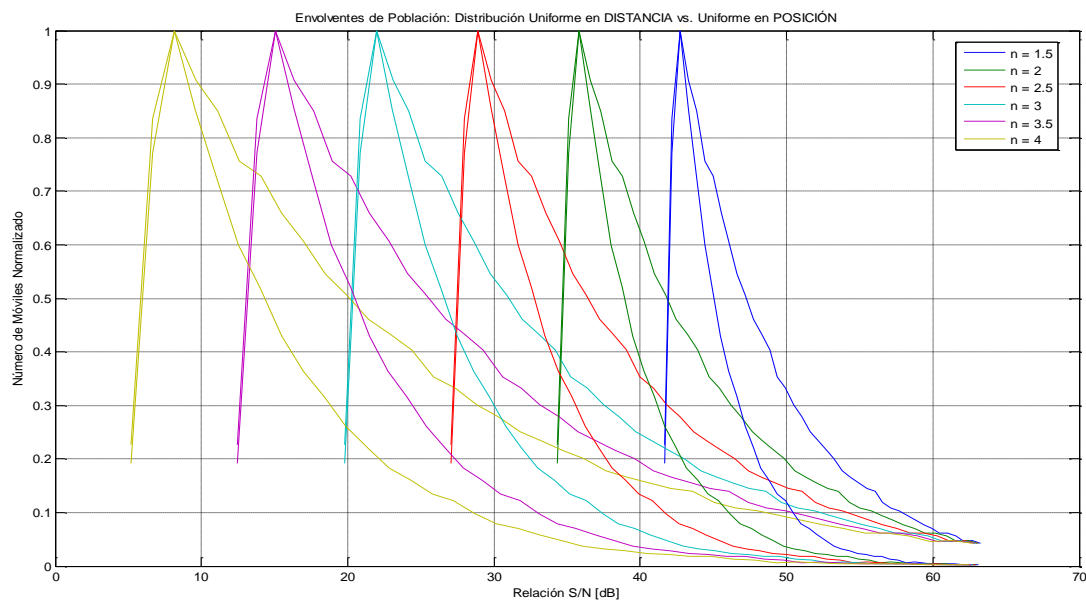


Figura 48:

Representación conjunta de las Envolventes de Población de las distribuciones de la figura 47.

A fin de conseguir una mayor definición en los histogramas de población en función de la SNR, se va a repetir la simulación, incrementando el número de móviles dentro del radio de cobertura (pasando de 100.000 a 300.000).

Se observa que ahora las envolventes de población correspondientes no tienen tantas ondulaciones, especialmente las de la distribución uniforme en distancia.

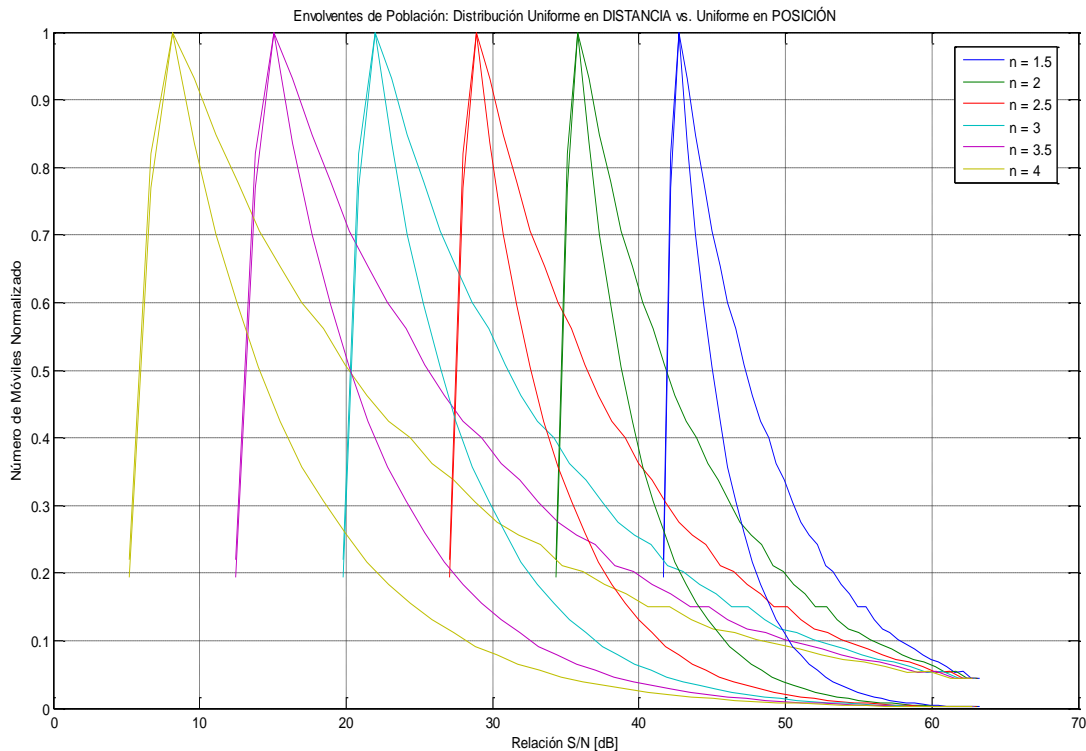


Figura 49:

Representación conjunta de las Envolventes de Población de las distribuciones de la figura 47.

Hay que subrayar que los máximos de las envolventes de población se localizan en la misma posición con ambas distribuciones, al igual que ocurría en el caso de la región de cobertura circular.

2.3.3. Comparativa de Regiones de Cobertura

En la gráfica siguiente se muestran, superpuestas, las regiones de cobertura circular y hexagonal regular consideradas en las simulaciones de los apartados anteriores. Según se observa, la región de cobertura hexagonal regular se encuentra inscrita en la región de cobertura circular:

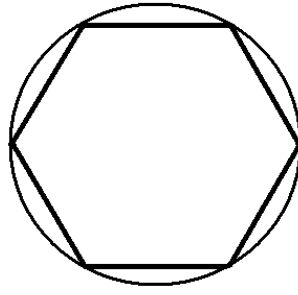


Figura 50: Superposición de las regiones de cobertura circular y hexagonal regular de las simulaciones.

En este apartado se hablará indistintamente de región de cobertura circular y de célula circular aislada. Nótese que ambos términos son coincidentes en lo que respecta a la evaluación de la SNR en su interior, es decir, obviando la presencia de estaciones base cercanas que pudieran delimitar la región de cobertura.

En los apartados anteriores se ha podido observar que, tanto con región de cobertura circular, como con región de cobertura hexagonal regular, las envolventes de población (del enlace descendente) en función de la SNR de los distintos n alcanzan la misma altura. Este resultado no es intuitivo, y tiene que ver con la diferente granularidad aplicada en la representación de cada histograma o envolvente, al emplearse el mismo número de barras en los diferentes rangos de valores de SNR obtenidos con cada n . Dado que la población es la misma en todos los casos, ello se traduce en un escalado de todas las curvas con el mismo rango de ordenadas⁵.

Así mismo, en las gráficas aportadas ha podido comprobarse que, tanto con región de cobertura circular, como con región de cobertura hexagonal regular, la forma de las envolventes de población se estrecha a medida que disminuye el coeficiente n . Dicho con otras palabras, se estrecha el rango de valores de SNR de la envolvente a medida que disminuye el coeficiente n . Esto es lógico, dado que las pérdidas de señal a una determinada distancia de la Estación Base (por ejemplo, en los puntos de $r=3$ Km) son mayores a medida que aumenta el coeficiente n , dando lugar a valores más pequeños de SNR.

Hay que subrayar que, empleando región de cobertura hexagonal regular, aparece en las envolventes de población en función de la SNR, de ambas distribuciones, una rampa abrupta por la izquierda, que no aparecía con cobertura circular. Este efecto será analizado en detalle más adelante.

En todo caso, este efecto no altera el hecho de que los máximos de las envolventes de población, para los distintos coeficientes n , se localizan en la misma posición con ambas distribuciones de población, tanto empleando región de cobertura circular, como hexagonal regular, según ha podido comprobarse en la comparativa de gráficas mostrada en los apartados 2.3.1.2.3 y 2.3.2.3.

⁵ No tendría por qué cumplirse si las pérdidas del trayecto asociadas a alguna de las envolventes representadas no estuvieran basadas en un decaimiento logarítmico en función de la distancia, o en el caso de que las pérdidas incorporasen excentricidades específicas de cada n .

En el caso de la región de cobertura hexagonal regular, estos máximos coincidirán, aproximadamente (dependiendo de la granularidad de las barras del histograma), con el valor de SNR en los puntos de la circunferencia del círculo inscrito, y, en el caso de la región de cobertura circular, con el valor de SNR en los puntos del borde de la región de cobertura.

En la figura siguiente se muestra el círculo inscrito en la región de cobertura hexagonal regular:

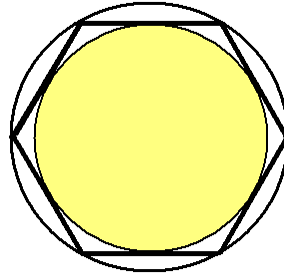


Figura 51: Círculo inscrito en la región de cobertura hexagonal regular.

Por otra parte, ha podido observarse que, con cobertura hexagonal regular, aparece un efecto de suavizado de las curvas de CDF en los valores de SNR más bajos, que hace, a su vez, que las curvas de los distintos n queden por debajo de las curvas correspondientes empleando cobertura circular, según podrá comprobarse gráficamente en las comparativas siguientes.

A continuación se muestra la comparativa de curvas de CDF(SNR), entre célula circular aislada y célula hexagonal regular, para el caso de Distribución de Población Uniforme en Distancia:

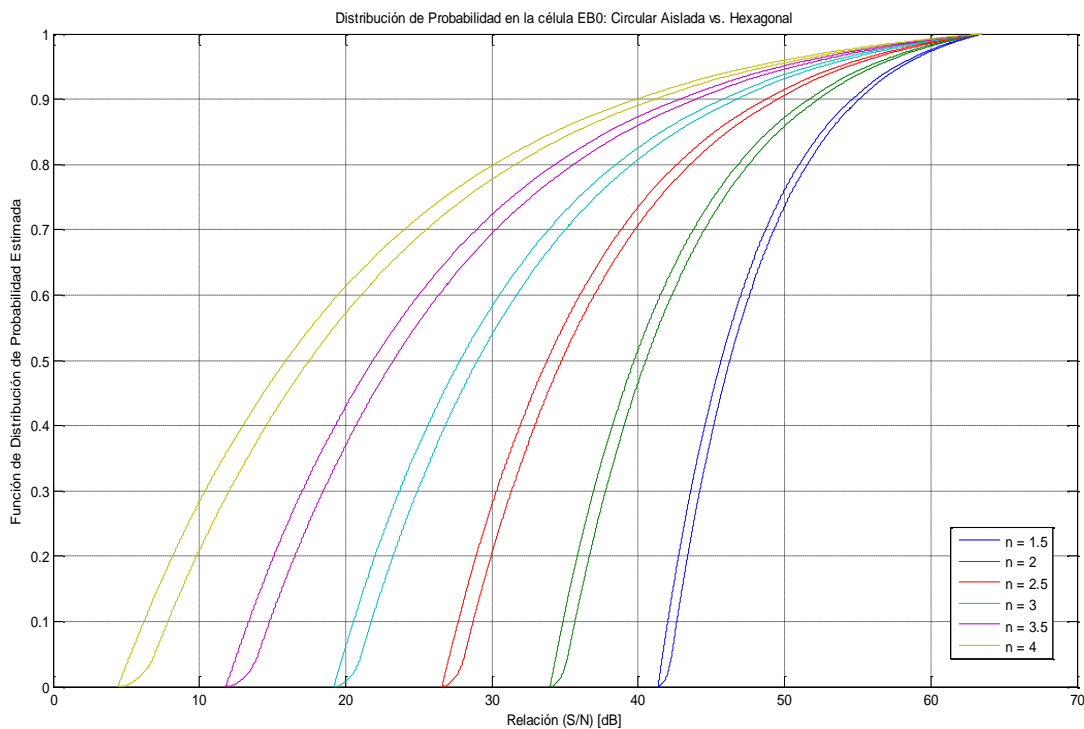


Figura 52: CDF(SNR[dB]) con Distribución de Población Uniforme en Distancia.
(Comparativa de las regiones de cobertura circular y hexagonal regular)

A continuación se muestra la comparativa de curvas de $CDF(SNR)$, entre célula circular aislada y célula hexagonal regular, para el caso de Distribución de Población Uniforme en Posición:

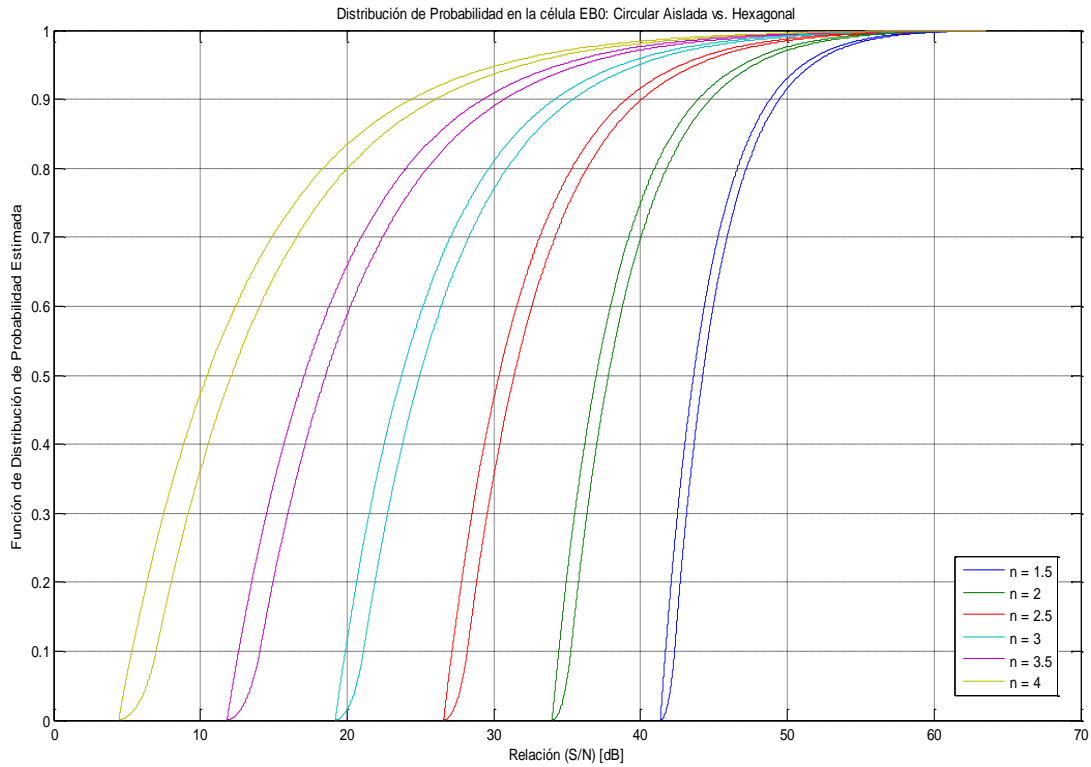


Figura 53: $CDF(SNR[dB])$ con Distribución de Población Uniforme en Posición.
(Comparativa de las regiones de cobertura circular y hexagonal regular)

En las dos gráficas anteriores puede observarse que ambas curvas de $CDF(SNR)$ de un mismo n arrancan y concluyen en el mismo punto ⁶, como resulta lógico, ya que ambas regiones de cobertura, en mayor o menor medida, admiten que haya móviles posicionados a una misma distancia cualesquiera de la Estación Base, dentro del radio de cobertura.

⁶ Considerando una población densa o numerosa, que permita ver localmente la distribución de población como un continuo (ya sea con mayor o menor densidad de móviles). Así por ejemplo, en estas simulaciones se han empleado 100.000 elementos dentro de la región de cobertura **circular**, para ambas distribuciones de población. Por su parte, dentro de la región de cobertura hexagonal regular, por estar inscrita en la anterior, caerán menos elementos, siendo algo mayor el número empleando distribución uniforme en distancia, dado que ésta provoca un acercamiento de elementos a la Estación Base, respecto de la distribución uniforme en posición.

2.4. ANÁLISIS DE LA SINR EN LA REGIÓN DE COBERTURA

Los parámetros de simulación que se van a emplear en este capítulo serán los mismos que los del capítulo anterior.

2.4.1. Interferencia en un Punto entre Dos EB

2.4.1.1. Enlace Descendente

En este apartado se va a analizar a continuación el caso más sencillo de interferencia.

Considérese dos estaciones base idénticas, *EB1* y *EB2* separadas una distancia d que emplean un mismo radiocanal para el enlace descendente. Por otra parte, considérese un terminal móvil situado en un punto P a una distancia $d1$ de la *EB1* y a una distancia $d2$ de la *EB2*.

Considérese, además, que ambas estaciones base radian de forma omnidireccional (es decir, con la misma intensidad en azimuth) y que el móvil recibe de manera omnidireccional.

Supóngase que el terminal móvil recibe cobertura de red de la *EB1*, por encontrarse posicionado más cerca de ésta. De este modo, cuando el móvil mantenga una comunicación, la señal recibida desde la *EB1* determinará la potencia de señal S , propiamente dicha, mientras que la señal recibida de la *EB2* supondrá una potencia de señal interferente I .

Se va a asumir, por último, que las condiciones de propagación de la señal deseada y de la interferente son las mismas (mediambientales, geográficas, etc).

Para ilustrar el caso de estudio de una forma sencilla, piénsese, por ejemplo, que ambas estaciones base se encuentran situadas sobre una amplia llanura despejada. Si se prefiere, considérese que en la región hay también árboles o casas, bajo la premisa de que la propagación desde ambas estaciones base al terminal móvil, en promedio, puede aproximarse mediante un modelo log-distancia con un determinado n (hallado previamente de forma empírica).

En el escenario planteado, la relación SINR⁷ vendrá determinada únicamente por las distancias $d1$ y $d2$, con independencia de la distancia d entre ambas estaciones base o la localización de las mismas respecto del punto P (posición del móvil). Así, por ejemplo, en los dos casos siguientes la SINR en el terminal móvil es la misma:

⁷ SINR: Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (relación señal a interferencia más ruido).

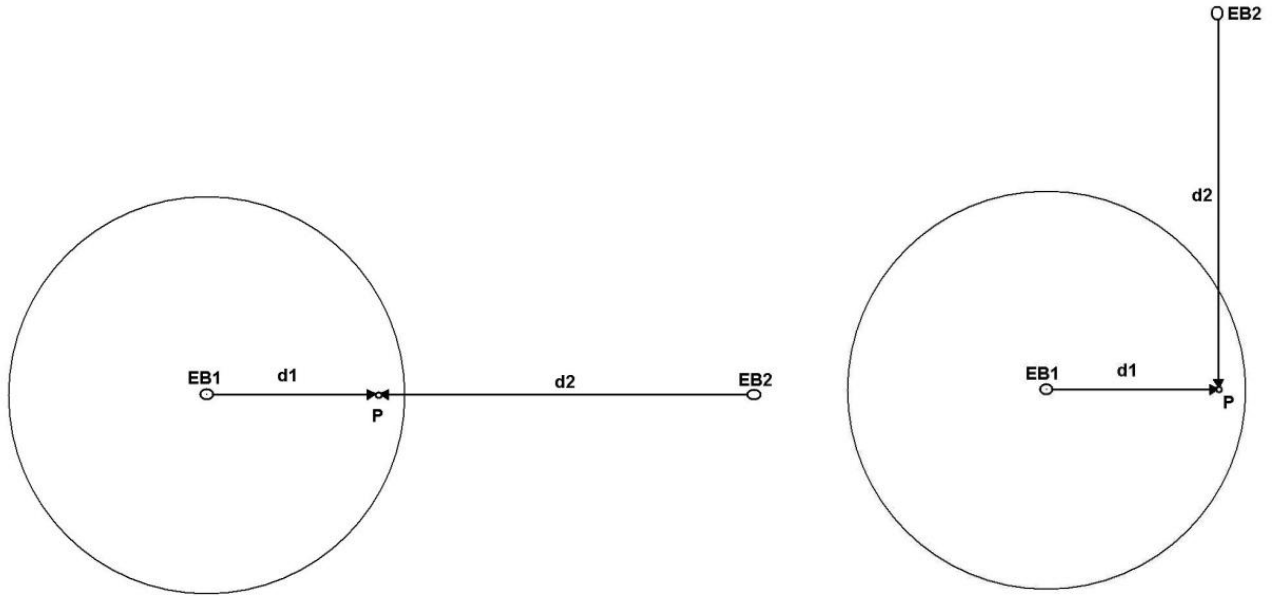


Figura 54: Casos de interferencia entre dos Estaciones Base, $EB1$ y $EB2$, en un punto P .

Nótese que en ambas figuras la distancia d entre las dos estaciones base es distinta. Mientras en la figura de la izquierda $d = d1 + d2$, en la de la derecha resulta $d = \sqrt{d1^2 + d2^2}$.

Para caracterizar el caso de estudio planteado, conviene acentuar que la situación sería la misma, igualmente, aunque $d1$ y $d2$ no formasen 90 grados con el punto P , o éste se encontrase en otro azimut distinto de los anteriores respecto de la $EB1$, siempre que $d1$ y $d2$ mantuviesen el mismo valor. Así, por ejemplo, en la figura siguiente, la SINR en el punto P sería la misma que en los dos casos anteriores, si bien $(d1 + d2) > d > \sqrt{d1^2 + d2^2}$:

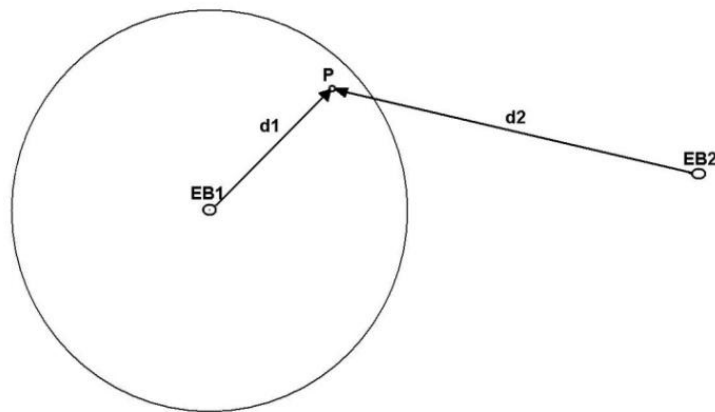


Figura 55: Caso genérico de interferencia entre dos Estaciones Base, $EB1$ y $EB2$, en un punto P .

De este modo, parece razonable fijar uno de los dos parámetros, $d1$ o $d2$, y estudiar la evolución del grado de interferencia producida en el terminal móvil en función de la variación del otro. En

este sentido, dado que la magnitud de la potencia interferente en el terminal móvil viene determinada por la distancia del mismo a la Estación Base Interferente (*EB2*), conviene fijar la *d1* y estudiar la evolución de la SINR en función de *d2*.

Por otra parte, **considerando que, en ningún caso, la *d2* va a ser menor que la *d1***,⁸ parece lógico emplear un eje de abscisas normalizado respecto de *d1*, de tal forma que pueda apreciarse claramente la evolución de la SINR cuando la *d2* se va aumentando proporcionalmente a la *d1*.

En los ejemplos siguientes se ha considerado un coeficiente de pérdidas $n=3$, estableciendo una distancia *d1*, entre el terminal móvil y la *EB1*, de 3 Km (izquierda) y 6 Km (derecha).

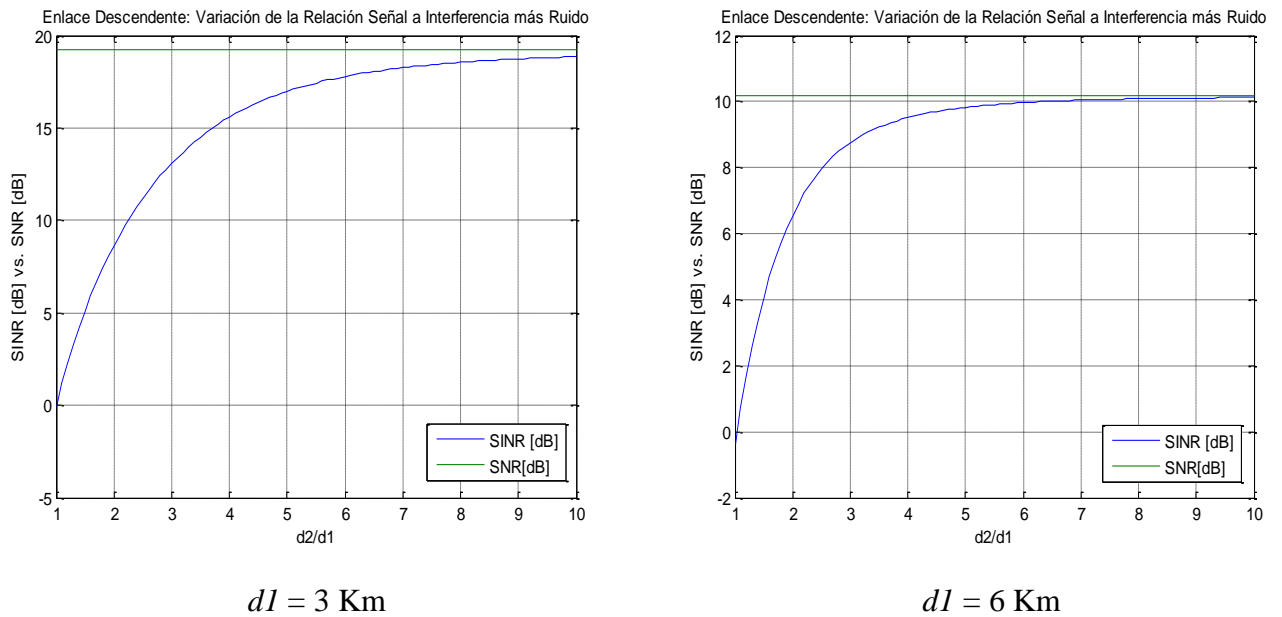


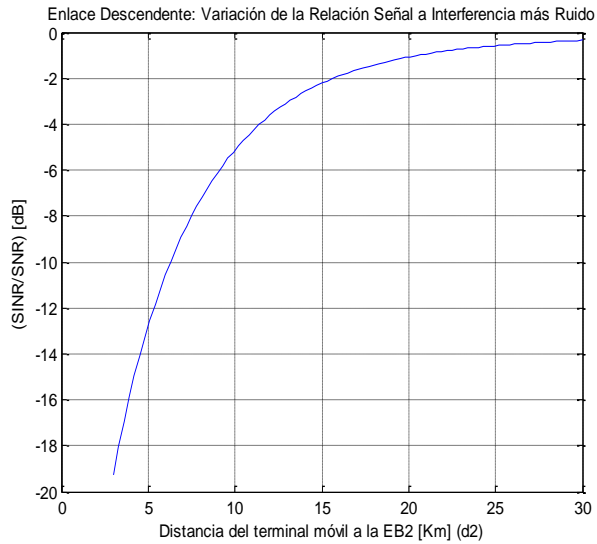
Figura 56: Variación de la SINR en el punto *P* con la distancia de la EB Interferente (Enlace Descendente).

Observando cualquiera de las gráficas se concluye que la SINR tiende a aproximarse asintóticamente a la SNR a medida que aumenta la distancia de la *EB2* al terminal móvil. Dicho con otras palabras, a medida que aumenta la distancia de la Estación Base Interferente al terminal móvil, menor es el efecto de la interferencia.

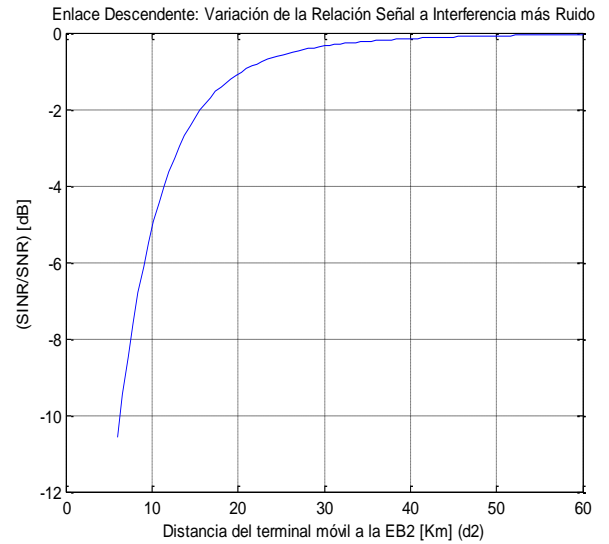
La comparativa de las dos gráficas sugiere, además, que la diferencia entre ambas relaciones, expresadas en dB, se estrecha en todos los casos en la misma medida conforme aumenta la distancia de la Estación Base Interferente al terminal móvil, con independencia del valor de *d1* empleado en el cálculo.

Para comprobarlo, se van a realizar las dos simulaciones anteriores, en cada caso, normalizando la SINR respecto del correspondiente valor de SNR y desnormalizando el eje de abscisas respecto del correspondiente valor de *d1*:

⁸ Ya que, en tal caso, el terminal móvil se encontraría más cerca de la *EB2* y la cobertura de red sería proporcionada, presumiblemente, por ésta, en lugar de por la *EB1*.



$d1 = 3 \text{ Km}$



$d1 = 6 \text{ Km}$

Figura 57: Relación entre SINR y SNR en función de la distancia de la EB Interferente (Enlace Descendente).

Para verlo con mayor claridad, se van a ajustar los ejes de las dos gráficas anteriores de igual forma, resultando la siguiente gráfica de la izquierda en ambos casos:

```
>> axis([6,30,-10,0])
```

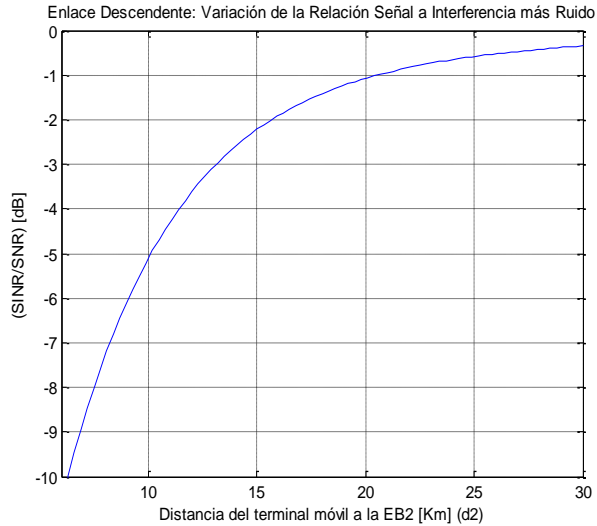


Figura 58:

Solapamiento de las gráficas de la Fig. 57.

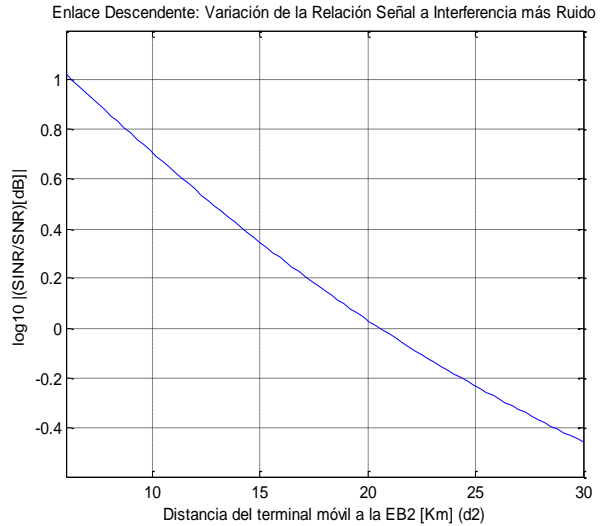


Figura 59:

Logaritmo decimal de la curva de la Fig. 58.

Por su parte, en la gráfica de la derecha se muestra la misma curva tomando el logaritmo decimal, comprobándose que la SINR no se aproxima a la SNR siguiendo, exactamente, una variación logarítmica decimal (al no quedar una línea recta), si bien, se asemeja bastante a ella.

La obtención de la misma gráfica (izquierda), en los dos casos planteados, ha permitido comprobar que la diferencia entre la SINR y la SNR, expresadas en dB, se estrecha en todos los

casos en la misma medida, conforme aumenta la distancia de la Estación Base Interferente al terminal móvil, con independencia del valor de dI empleado en el cálculo.

A esta misma conclusión se podría haber llegado operando del siguiente modo:

$$\left(\frac{\text{SINR}}{\text{SNR}}\right) [\text{dB}] = \text{SINR}[\text{dB}] - \text{SNR}[\text{dB}] = (S - NI) - (S - N) = N - NI \neq f(S)$$

Donde:

S es la potencia de Señal recibida en el terminal móvil, expresada en dBm.

N es la potencia de Ruido en el terminal móvil ⁹, expresada en dBm.

NI es la potencia resultante de la suma de las potencias Interferente y de Ruido, expresada en dBm.

A continuación, se va a analizar el comportamiento de la SINR en función del coeficiente n . Para ello, estableciendo $dI = 3$ Km, se va a realizar una comparativa entre $n=3$ y $n=2$.

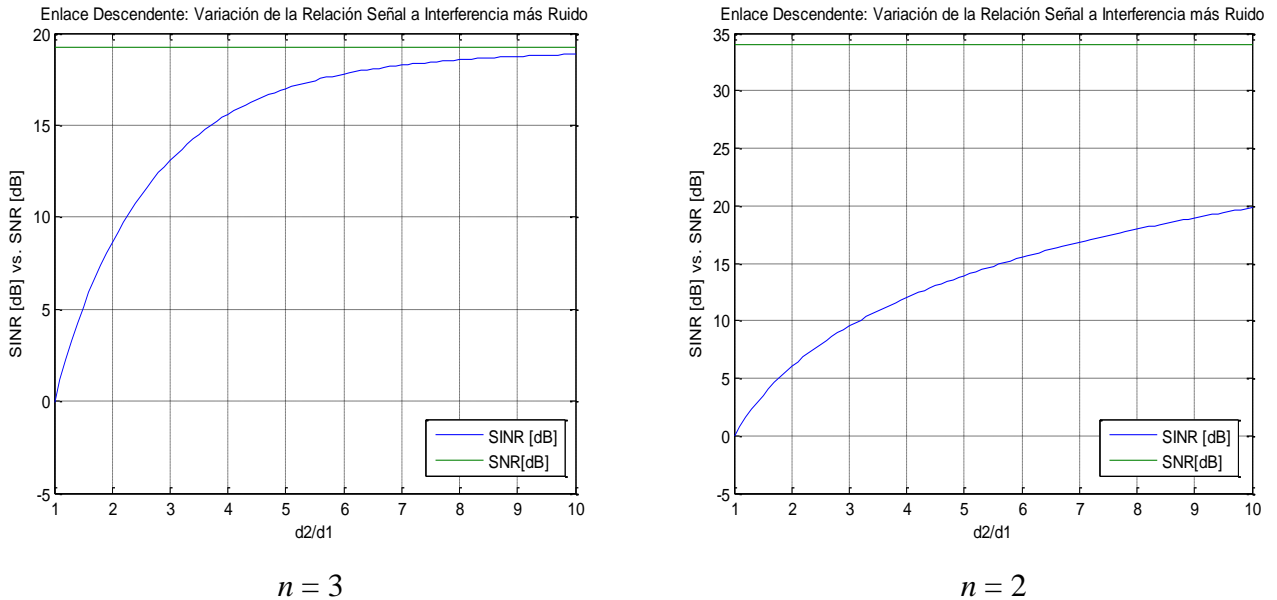


Figura 60: Variación de la SINR en el punto P con la distancia de la EB Interferente (Enlace Descendente).

En primer lugar, puede observarse en las dos gráficas anteriores que la SINR comienza en un valor muy próximo a 0 dB. Significa esto que, con los coeficientes de pérdidas empleados ($n=2$ y $n=3$), si la Estación Base Interferente se encuentra situada a una distancia del terminal móvil $d2=dI=3$ Km, la potencia de ruido en el terminal es despreciable frente a la potencia interferente recibida. No ocurrirá así en otros casos, como podrá comprobarse más adelante.

Hecha la salvedad anterior, ambas gráficas ponen de manifiesto que en el extremo de la región de cobertura de la *EBI* el efecto de la interferencia puede llegar a ser muy grave, en función de la distancia a la que se encuentre la EB interferente¹⁰.

⁹ Referida a la entrada del receptor del terminal móvil.

Por otra parte, aunque el rango de excursión de la SINR mostrado en ambas gráficas es muy similar, se hace patente que la convergencia de la SINR a su correspondiente valor de SNR es considerablemente más lenta con $n=2$ que con $n=3$. Esto significa que el efecto de la interferencia en el terminal móvil se diluye, con la distancia, bastante antes en el caso de $n=3$. Así, en las gráficas siguientes puede apreciarse con claridad que, mientras en un caso ambas relaciones han convergido, prácticamente, si $d_2=30$ Km, en el otro aún distarían 14 dB.

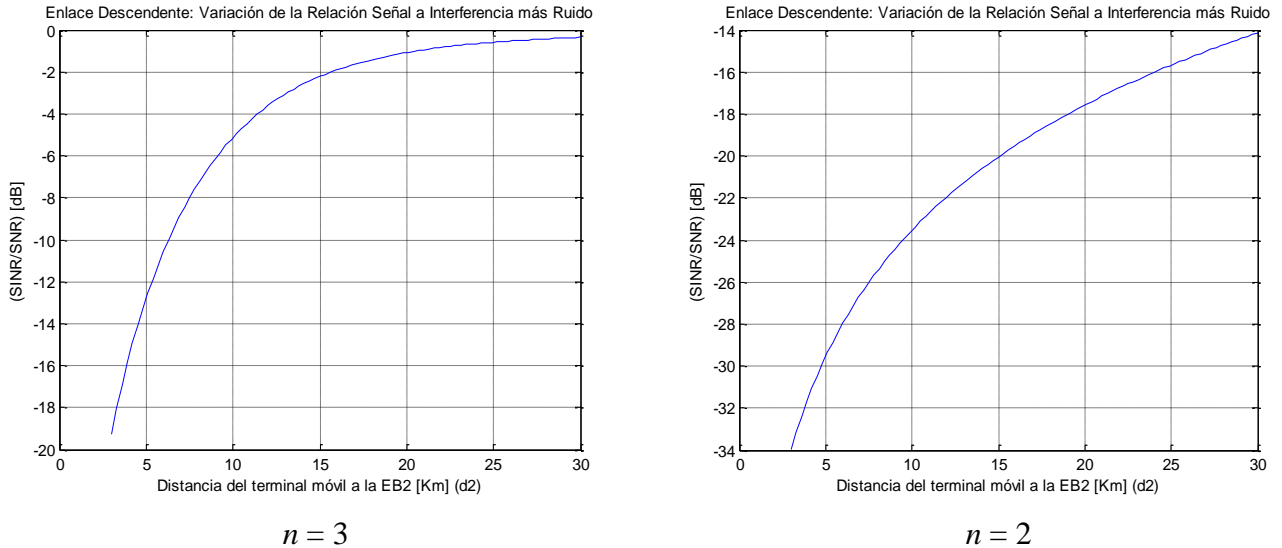


Figura 61: Relación entre SINR y SNR en P , en función de la distancia de la EB Interferente (Enlace Descendente).

En las siguientes gráficas se muestra la evolución de la SINR con el coeficiente n , conforme aumenta la separación de la Estación Base Interferente con el terminal móvil:

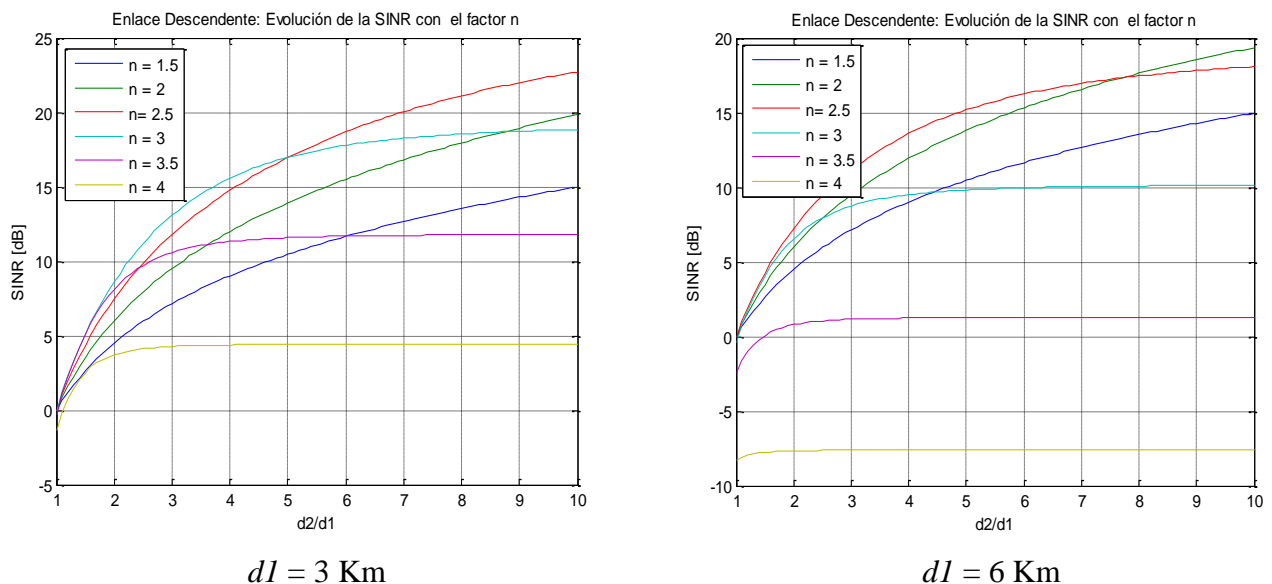


Figura 62: Evolución de la SINR(d_2) con el coeficiente n en el punto P (Enlace Descendente).

¹⁰ Asumiendo que hubiera cobertura de red en el caso de que $d_1 = d_2 = 3$ Km, el punto P se encontraría en el borde de la región de cobertura de la $EB1$, conforme al criterio impuesto de cobertura proporcionada por la EB más cercana. Puede observarse en las gráficas que, en este caso límite, la diferencia entre la SNR y la SINR es muy grande.

En cualquiera de las dos gráficas anteriores puede comprobarse que, conforme se incrementa el coeficiente n , la $SINR(d2)$ converge antes al valor de SNR .¹¹

Los análisis de interferencia realizados hasta ahora están basados en los escenarios mostrados en las figuras anteriores, en los que se evalúa la interferencia entre dos Estaciones Base idénticas en un punto, bajo la premisa que $d2 > d1$. Dado que sólo se evalúa la interferencia en un punto, no se hacen consideraciones de solapamiento de regiones de cobertura de las células, más allá de la consideración de que la cobertura es proporcionada únicamente por la EB más cercana.

Considerando que la circunferencia que aparece dibujada en las figuras representa la región de cobertura de la EB1, siendo idéntica a la de la EB2, en ninguno de los tres ejemplos presentados habría solapamiento de regiones de cobertura, según puede comprobarse con la ayuda de un compás. Nótese, no obstante, que la situación sería la misma aunque las circunferencias se solapasen¹², dado que $d2 > d1$.

2.4.1.2. Enlace Ascendente

En el apartado anterior se ha considerado que ambas Estaciones Base emplean un mismo radiocanal descendente. A continuación, se va a analizar el caso de que dos terminales móviles, que reciben cobertura de dos Estaciones Base distintas, estén empleando también un mismo radiocanal ascendente.

A fin de evaluar bien el problema, puede considerarse uno cualquiera de los siguientes escenarios que, por analogía a los planteados para el enlace descendente, se han dibujado manteniendo la misma separación entre el móvil propio M , que recibe cobertura de la $EB0$, y el interferente M_I (es decir, entre el punto M y el origen de la interferencia):

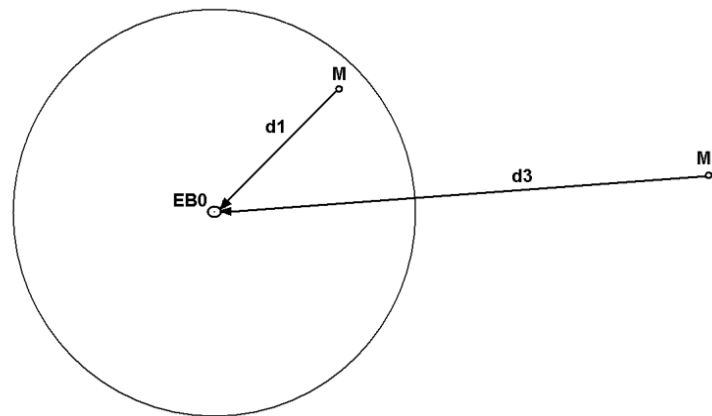


Figura 63: Caso genérico de interferencia entre dos Terminales Móviles, M y M_I , asociada al punto M .
(Enlace Ascendente)

¹¹ Cuando converge al valor de SNR , la curva se vuelve plana.

¹² Ello conllevaría asumir que la cobertura en la región de la intersección pueda ser proporcionada indistintamente por cualquiera de las dos células, o bien, hacer la interpretación de que se han representado las regiones de cobertura de las EB bajo el modelo de célula circular aislada, pero que la cobertura, en cada caso, es proporcionada por la más EB más cercana al terminal móvil.

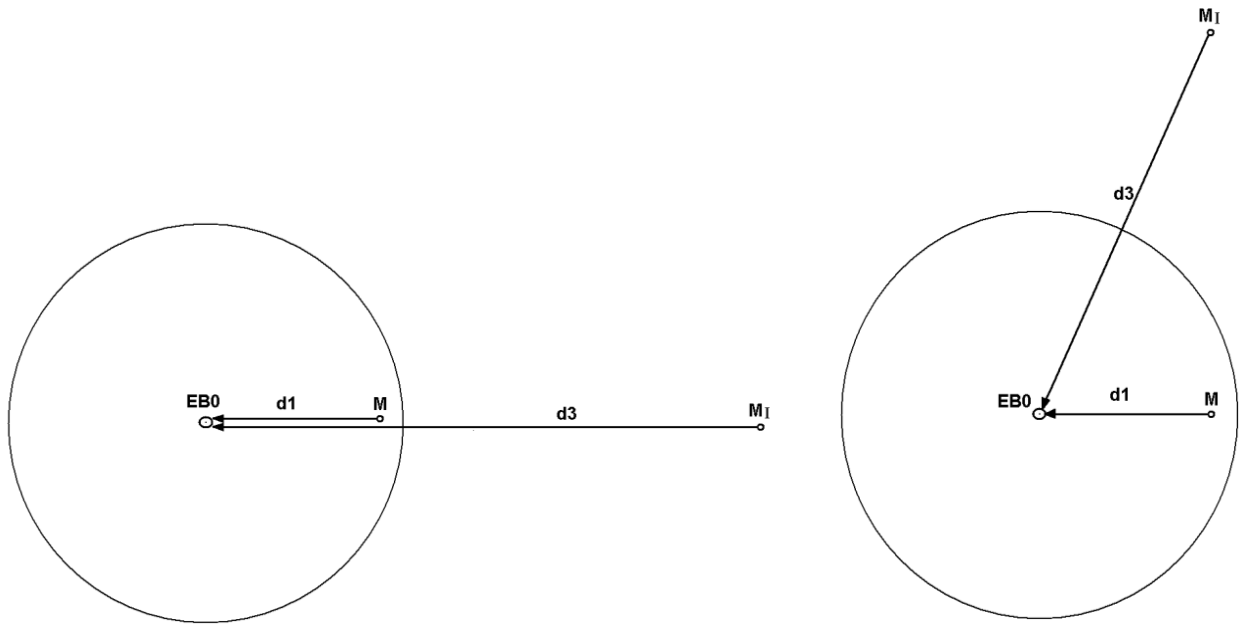


Figura 64: Casos de interferencia entre dos Terminales Móviles, M y M_I , asociada al punto M .
(Análogos a los de la Fig. 54, pero para el Enlace Ascendente)

Aunque, lógicamente, el canal ascendente y el descendente ocuparían una banda distinta, en las simulaciones siguientes se empleará la misma frecuencia que se empleó en el apartado anterior para canal descendente (1800 MHz), para una mejor comparativa.

Como ya se hiciera en el apartado anterior, parece razonable fijar uno de los dos parámetros, $d1$ o $d3$, y estudiar la evolución del grado de interferencia producida en la $EB0$ en función de la variación del otro. En este sentido, dado que la magnitud de la potencia interferente en la Estación Base viene determinada por la distancia $d3$, entre la misma y el Terminal Móvil Interferente (M_I), conviene fijar la $d1$ y estudiar la evolución de la SINR en función de $d3$.

Por otra parte, **considerando que, en ningún caso, la $d3$ va a ser menor que la $d1$,**¹³ parece lógico emplear un eje de abscisas normalizado respecto de $d1$, de tal forma que pueda apreciarse claramente la evolución de la SINR cuando la $d3$ se va aumentando proporcionalmente a la $d1$.

Al igual que se hizo en el apartado anterior, se va a analizar el comportamiento de la SINR en función del coeficiente n . Para ello, estableciendo $d1 = 3$ Km, se va a realizar una comparativa entre $n=3$ y $n=2$.

¹³ Ya que, en tal caso, la cobertura del terminal móvil interferente debería estar siendo proporcionada por la $EB0$, conforme al criterio, previamente establecido, de que la cobertura es proporcionada por la Estación Base más cercana.

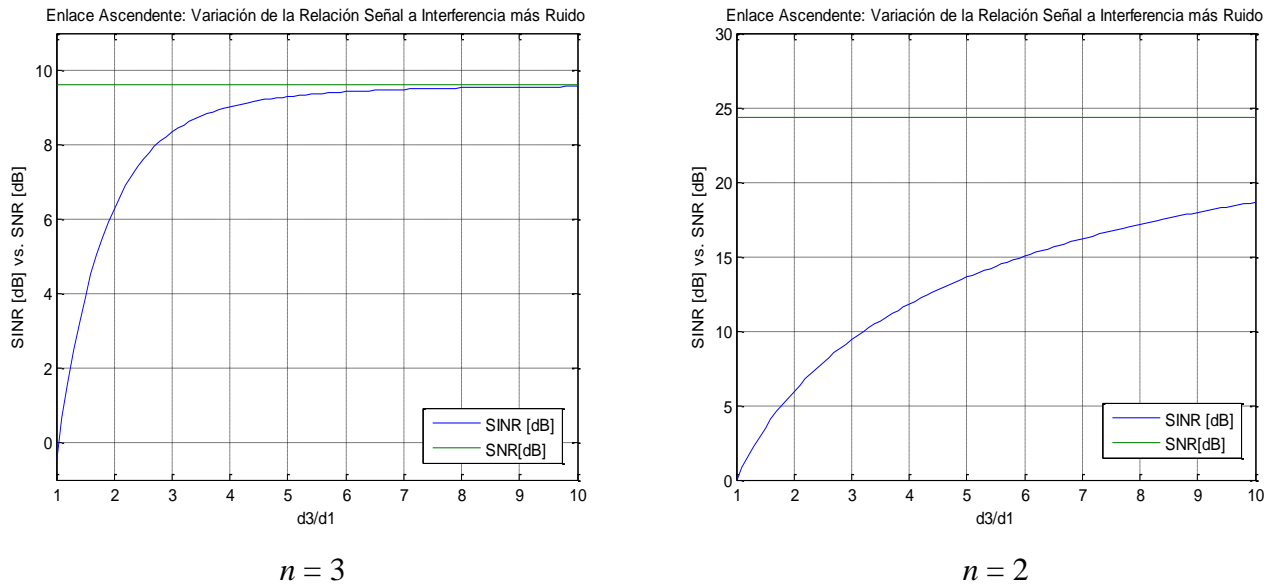


Figura 65: Variación de la SINR en la EB0 con la distancia, a la misma, del Móvil Interferente (Enlace Ascendente).

Puede observarse que la convergencia de la SINR a su correspondiente valor de SNR es considerablemente más lenta con $n=2$ que con $n=3$. Esto significa que el efecto de la interferencia sobre la Estación Base se diluye (con la distancia) bastante antes en el caso de $n=3$. Así, en las gráficas siguientes puede apreciarse con claridad que, mientras en un caso ambas relaciones han convergido, prácticamente, si $d3=17$ Km, en el otro aún distarían 10 dB.

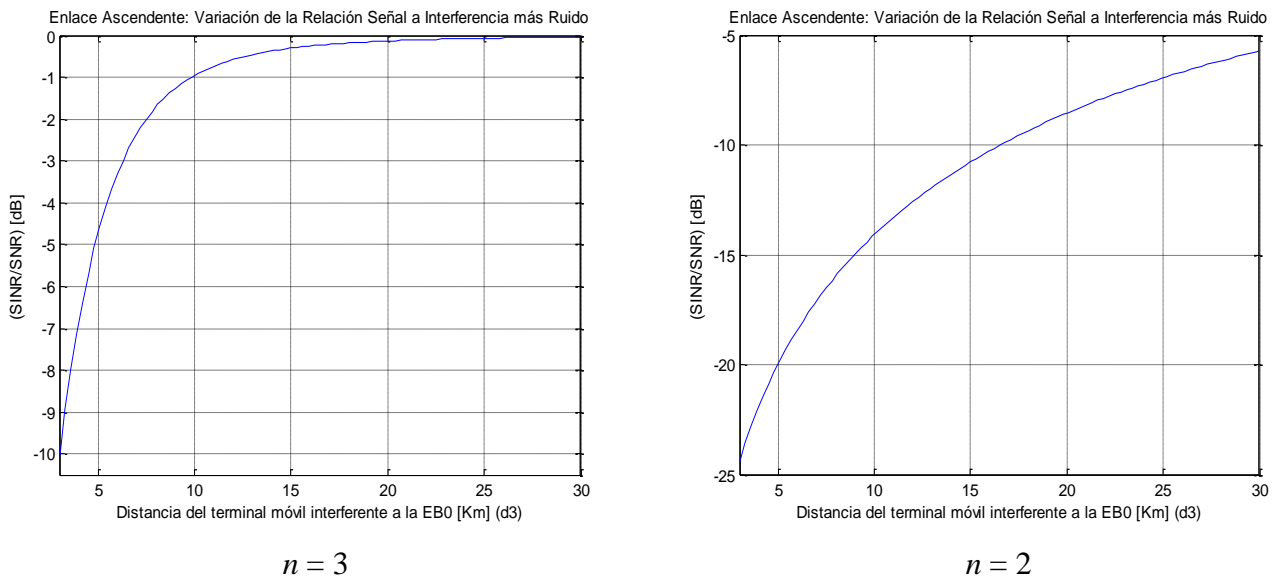


Figura 66: Relación entre SINR y SNR en la EB0, en función de la distancia, a la misma, del Móvil Interferente (Enlace Ascendente).

En las gráficas siguientes se ha tomado el logaritmo decimal de las curvas anteriores, comprobándose que la SINR no se aproxima a la SNR siguiendo, exactamente, una variación logarítmica decimal, si bien, localmente, se asemeja bastante a ella.

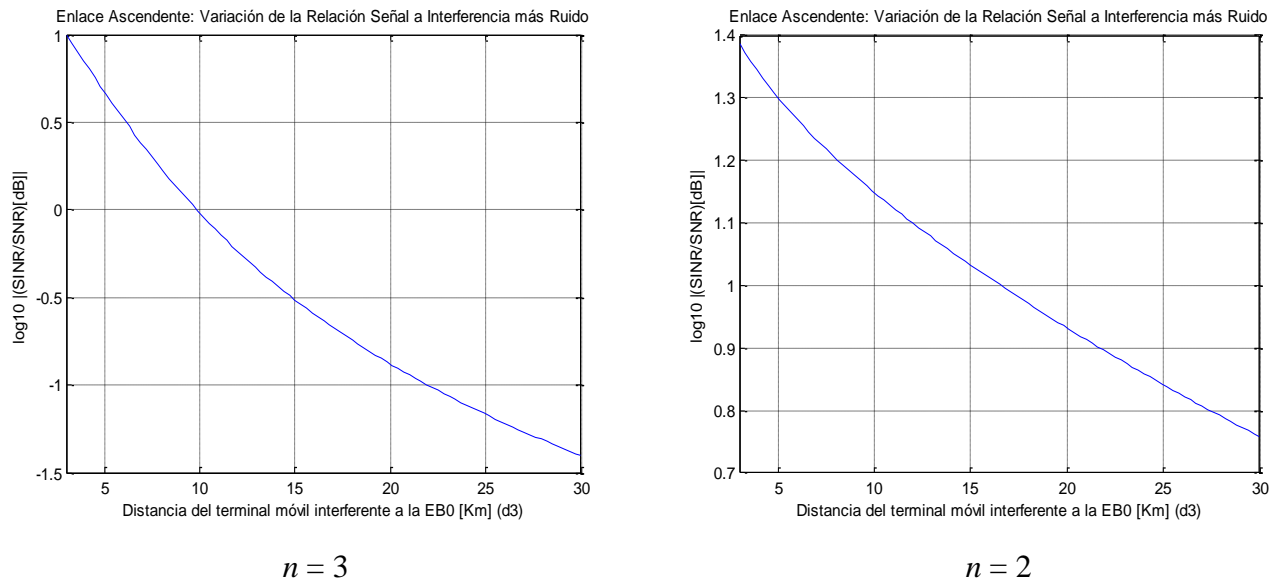


Figura 67: Logaritmo decimal de las curvas de la Figura 66.

En la siguiente gráfica se muestra la evolución de la SINR con el coeficiente n , conforme aumenta la separación entre el terminal móvil interferente M_I y la $EB0$:

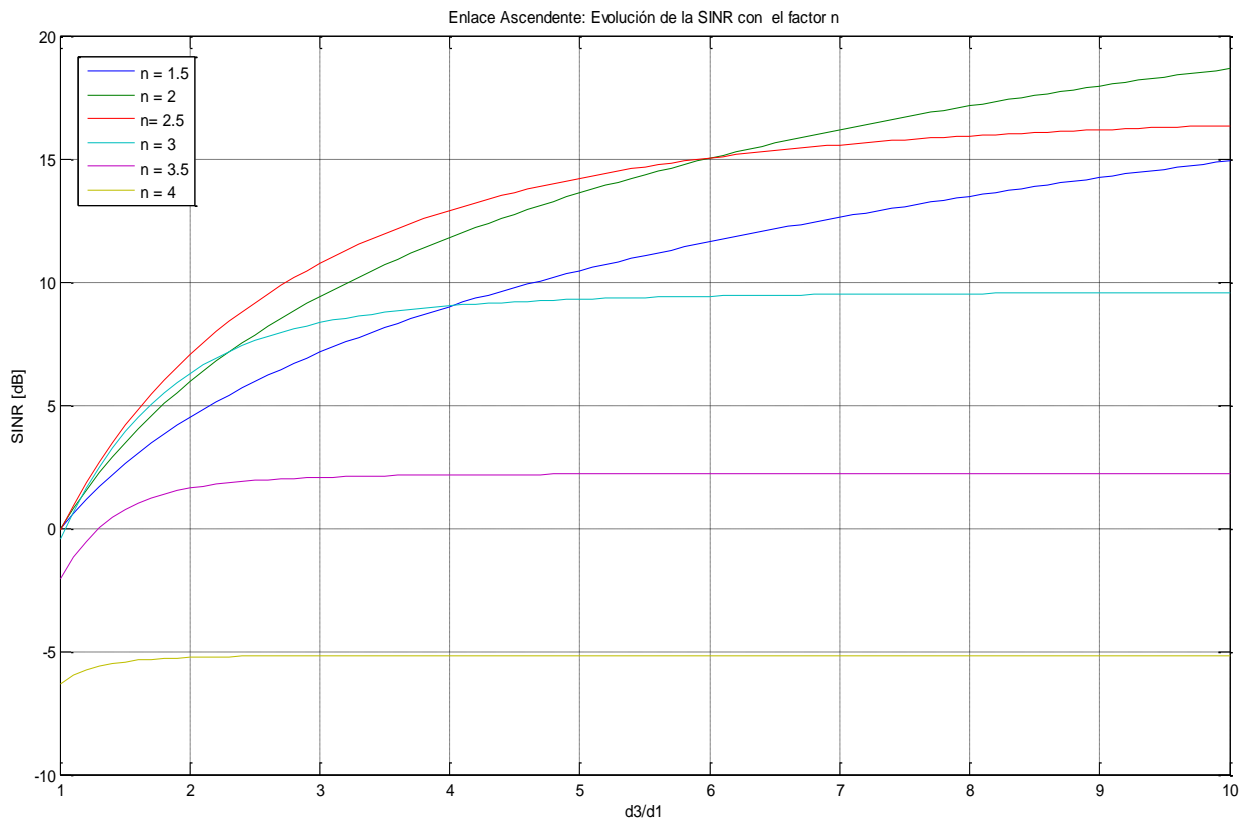


Figura 68: Evolución de la $SINR(d3)$, con el coeficiente n , en la $EB0$ (Enlace Ascendente).

En el caso particular del enlace ascendente, cabe preguntarse también cómo evoluciona la SINR en función de $d1$, manteniendo fija la $d3$.¹⁴

Siendo la distancia $d3$ la que determina la magnitud de la potencia interferente en la $EB0$, esta cuestión supone realizar el estudio para un mismo valor de potencia interferente I dentro de la región de cobertura de dicha Estación Base.

Por otra parte, dado que la potencia de ruido N en el receptor de la $EB0$ (asociada al canal de trabajo) es también un valor constante, la relación entre la SINR y la SNR resultará igualmente un valor constante, según se desprende a la luz de la expresión presentada en el apartado anterior:

$$\left(\frac{\text{SINR}}{\text{SNR}}\right) [\text{dB}] = \text{SINR}[\text{dB}] - \text{SNR}[\text{dB}] = (S - NI) - (S - N) = N - NI \neq f(S)$$

Donde ahora:

S es la potencia de Señal recibida en el receptor de la Estación Base, expresada en dBm.

N es la potencia de Ruido en el receptor de la Estación Base¹⁵, expresada en dBm.

NI es la potencia resultante de la suma de las potencias Interferente y de Ruido, expresada en dBm.

Es decir, hablando en términos de decibelios, la diferencia de ambas no varía con la distancia $d1$ (o con el cociente $d3/d1$, ya que se impone que $d3$ sea fijo), si bien, dicho margen sería distinto para cada valor de $d3$ evaluado. En otras palabras, **estando expresadas en dB**¹⁶, las curvas de la SINR obtenidas con distintos valores de $d3$ resultan paralelas a la de la SNR.

Para corroborar esta conclusión, se ha realizado la siguiente simulación, en donde se ha tomado un coeficiente de pérdidas $n=3$ y un radio de cobertura de la $EB0$ $r = d1_{\text{máximo}} = 3$ Km, bajo la premisa de que $d3$ es mayor o igual que $d1_{\text{máximo}}$.

Según puede comprobarse en la gráfica mostrada a continuación, a medida que aumenta $d3$, es decir, la distancia del móvil interferente a la $EB0$, en ésta la SINR se aproxima más a la SNR (referidas ambas al canal de trabajo empleado por el móvil propio y el interferente).

¹⁴ En el caso del enlace descendente no tenía sentido, dado que la Estación Base Interferente es un terminal fijo, cuya contribución sobre el terminal móvil iría variando, lógicamente, a medida que éste se mueve por la región de cobertura. Por el contrario, en este caso, la interferencia producida en la $EB0$ por el terminal móvil interferente puede mantenerse constante, aunque la posición del terminal móvil propio varíe.

¹⁵ Referida a la entrada del receptor de la Estación Base, es decir, a la entrada del Multiacoplador de Antena (véase apéndice A.6).

¹⁶ Expresadas en unidades naturales, las curvas distintas curvas de SINR y la de SNR no resultarían paralelas entre sí.

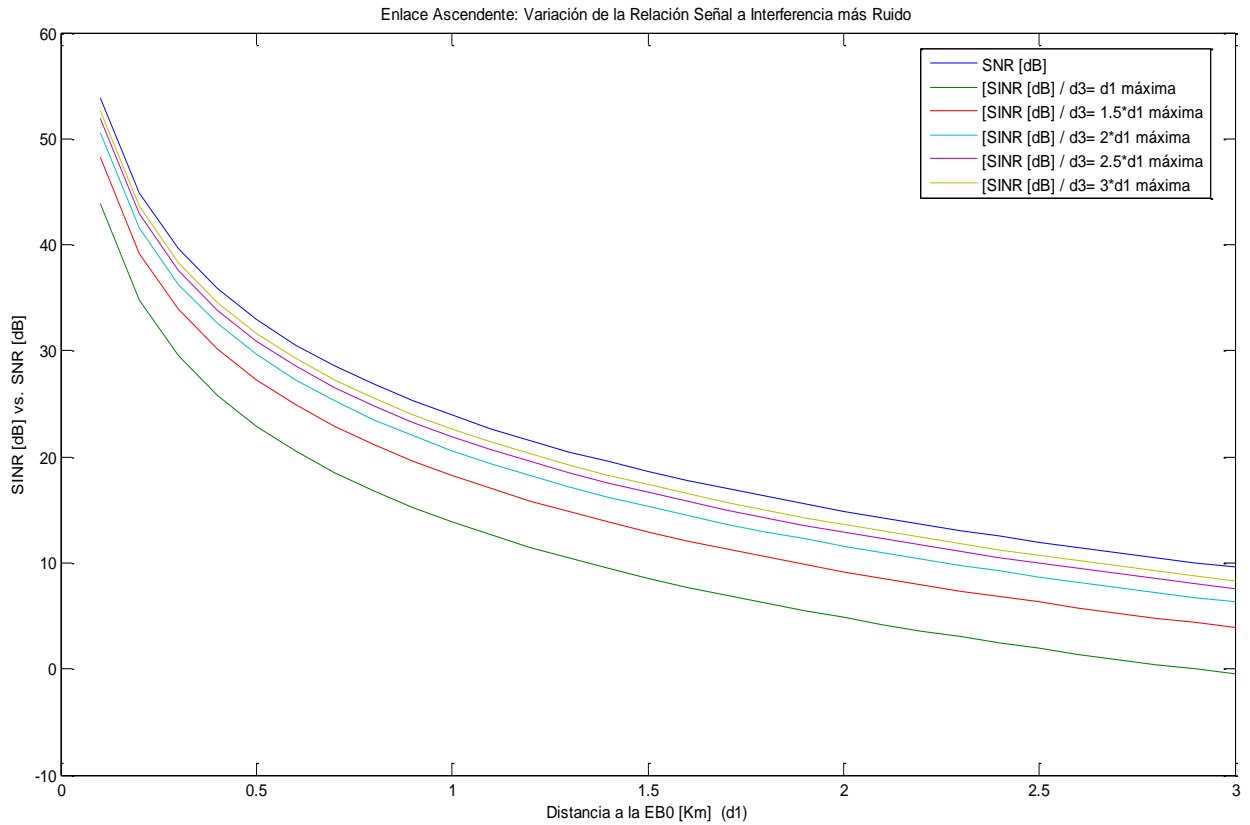


Figura 69: Evolución de la $SINR(d1)$ en la $EB0$, con la distancia a la misma del Móvil Interferente (Enlace Ascendente).

Por último, cabe preguntarse, a la vista de la gráfica anterior, cómo se aproxima la curva de la SINR a la de la SNR a medida que aumenta la $d3$ (y, por ende, que la potencia interferente en la $EB0$ es menor). Para ello, baste observar la gráfica de la izquierda siguiente:

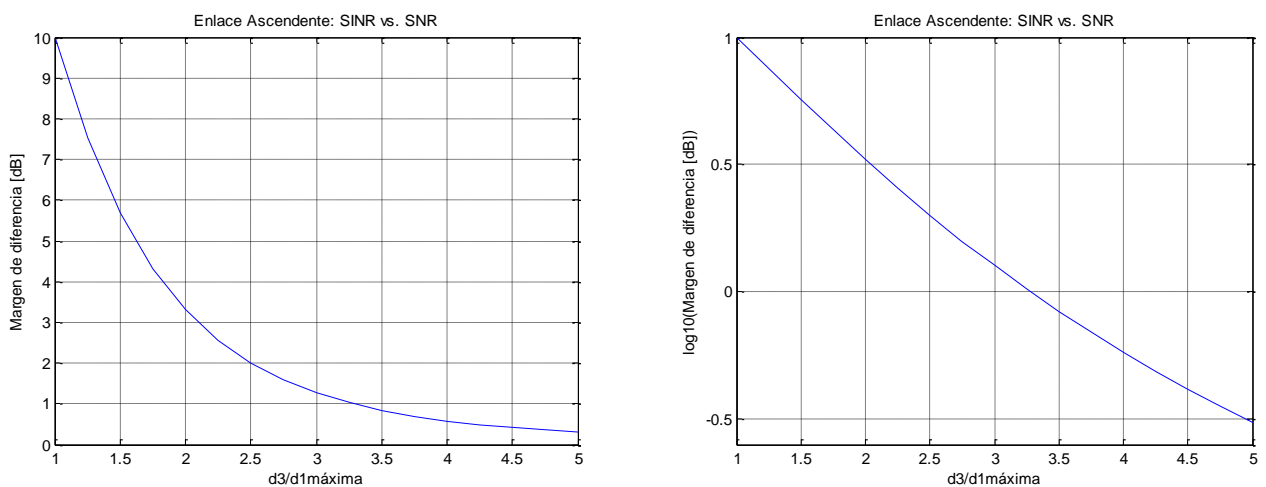


Figura 70: Margen de diferencia entre SINR y SNR en la $EB0$, en función de su distancia al Móvil Interferente. (Enlace Ascendente)

La forma en que ambas relaciones se van aproximando no sigue exactamente una variación logarítmica decimal, según se comprueba en la gráfica de la derecha, donde se aprecia que, aplicando dicha transformación, no queda una línea recta, si bien, se asemeja bastante a ella.

2.4.2. Interferencia en una Región

De aquí en adelante, las simulaciones del presente estudio se basarán en el Enlace Descendente.

2.4.2.1. Dos Células Circulares Aisladas

En este apartado se va a analizar el caso peor de interferencia entre dos células circulares aisladas, que supone que las regiones de cobertura de las dos Estaciones Base se encuentren todo lo más cerca posible, sin solaparse (siendo rigurosos, estando separadas por un único punto en el plano).

De este modo, considérese el siguiente escenario, donde las circunferencias delimitan la región de cobertura de dos Estaciones Base idénticas¹⁷, *EB1* y *EB2*, que emplean un mismo radiocanal descendente, siendo *r* el radio de cobertura de ambas células.

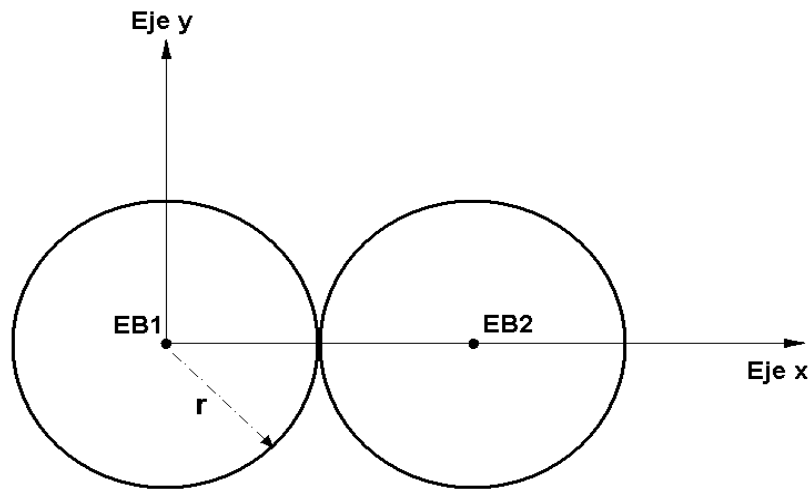


Figura 71: Representación del peor escenario de interferencia entre dos células circulares aisladas.

En este escenario, manteniendo la nomenclatura anterior, será:

$$d = 2r$$

$$dI \in [d_0, r]$$

$$dI_{max} = r = dI_{min}$$

¹⁷ Entiéndase en sentido amplio, es decir, que además de ser iguales, radian de igual modo (esto es, con la misma potencia y diagrama de radiación).

$$d_{2_{max}}=3r$$

Las coordenadas de las Estaciones Base serán:

$$EB1: (0,0)$$

$$EB2: (2r,0)$$

A continuación, se pretende mostrar en 3-D el aspecto que presenta la SNR y la SINR en la región de cobertura de la *EB1*, a fin de poder establecer una comparativa visual de ambas que permita apreciar el efecto de la proximidad de la *EB2*.

Hay que tener en cuenta que, a efectos de la SNR, el escenario presentaría simetría de revolución respecto de la *EB1*, dado que dicha relación no computa la contribución de potencia interferente *I* de la *EB2* sobre la región de cobertura de la *EB1*.

Por otra parte, dado la $SNR = SINR(I=0)$, mediante comparativa directa de las gráficas 3-D de ambas relaciones podrá apreciarse el efecto de la interferencia de la *EB2* sobre la región de cobertura de la *EB1*.

En la simulación siguiente se ha tomado un radio de cobertura $r=3$ Km (que implica una separación $d=6$ Km de ambas EB) con un coeficiente de pérdidas de $n=3$:

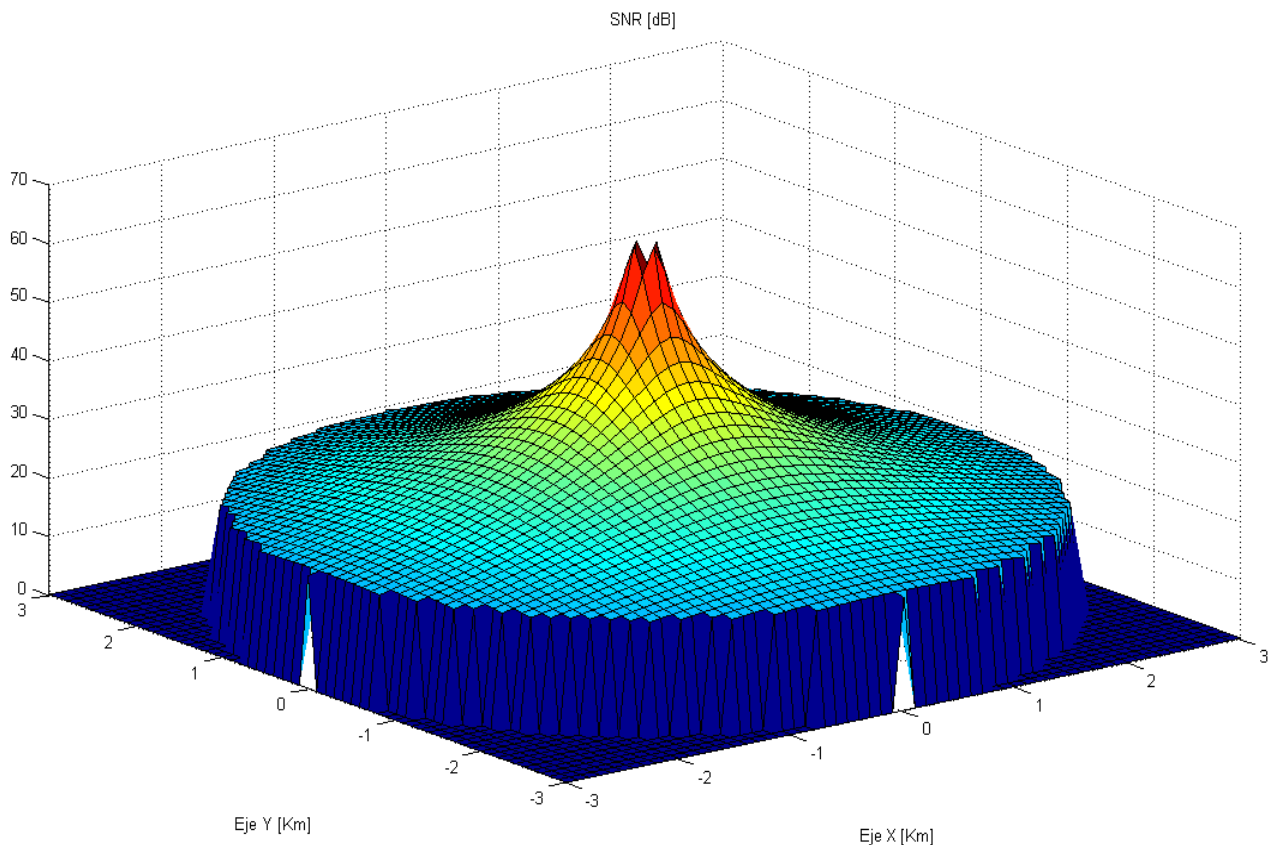


Figura 72: Representación 3-D de la SNR[dB], para $r=3$ Km y $n=3$.

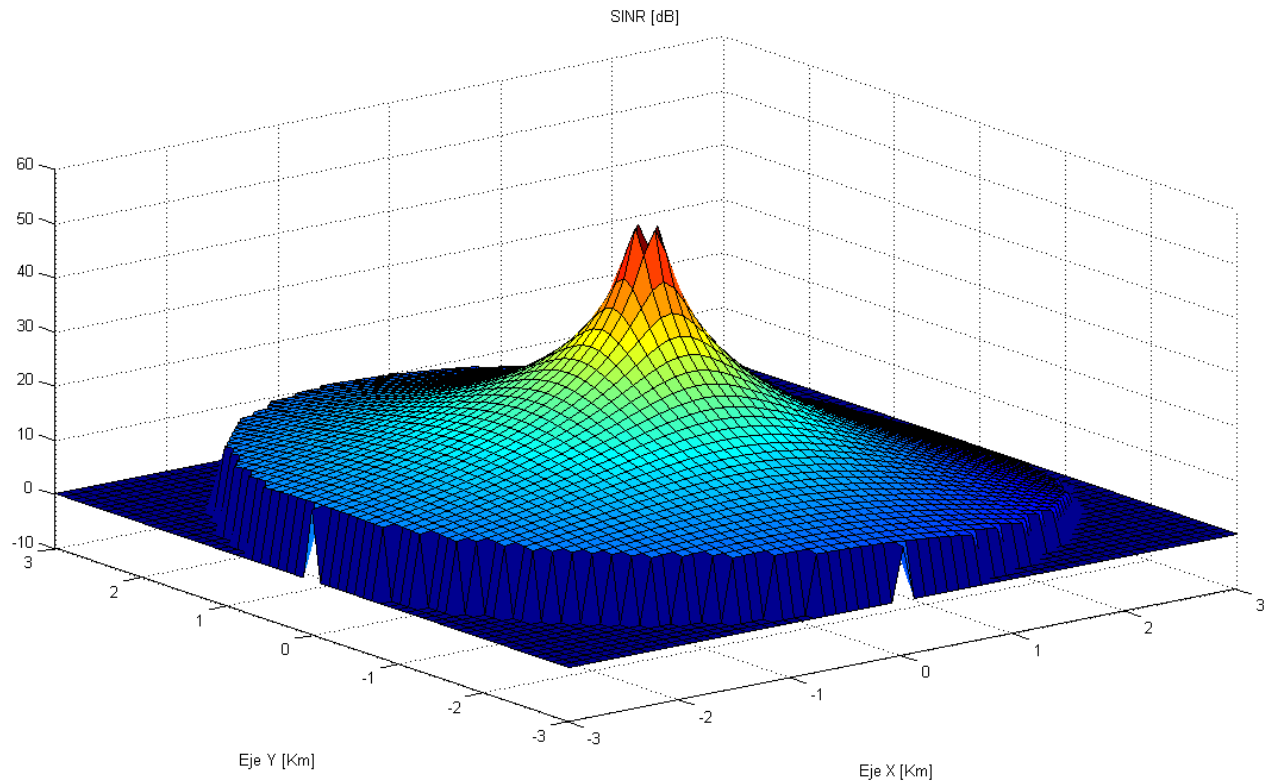


Figura 73: Representación 3-D de la SINR[dB], para $r=3$ Km y $n=3$.

Se comprueba que la SINR no presenta simetría especular respecto del eje Y, como consecuencia de la geometría del escenario, apreciándose un aplastamiento de su forma en su mitad derecha (semieje X positivo). A fin de que pueda apreciarse mejor, se va a rotar la figura:

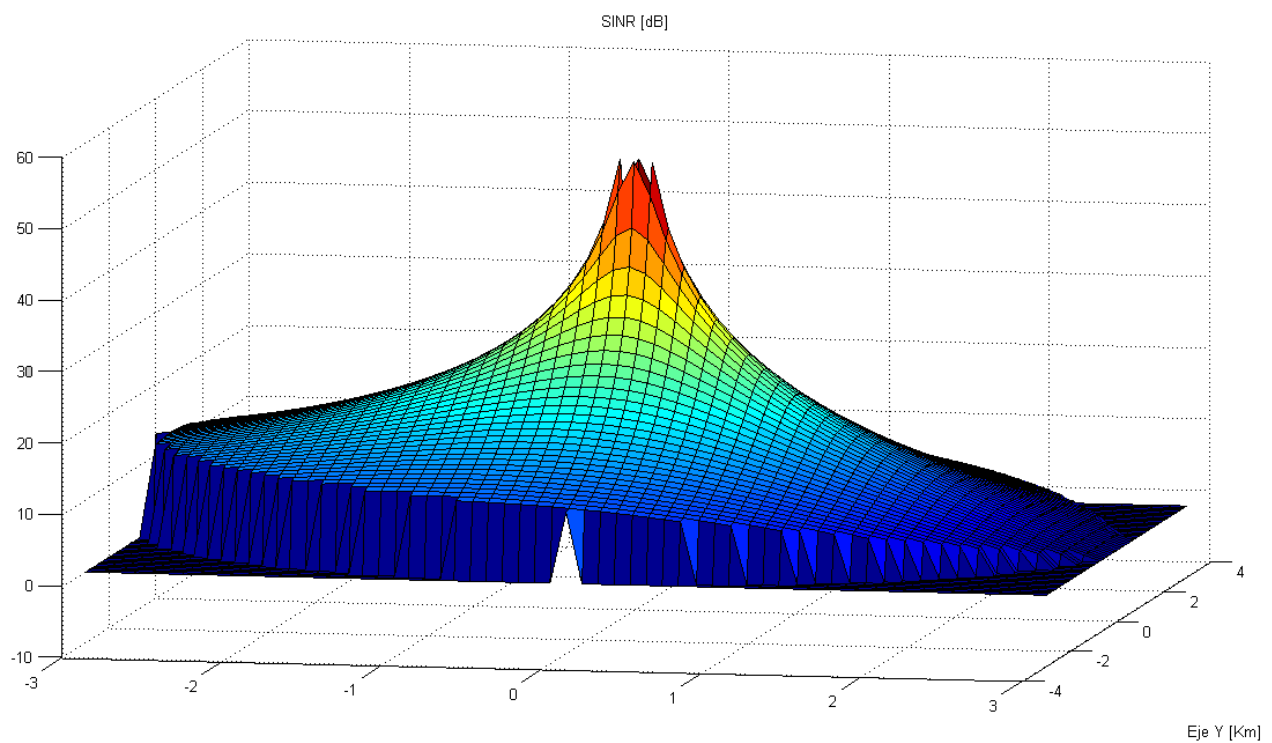


Figura 74: Rotación de la gráfica de la Figura 73.

A continuación se va a repetir la simulación, tomándose un coeficiente de pérdidas $n=2$:

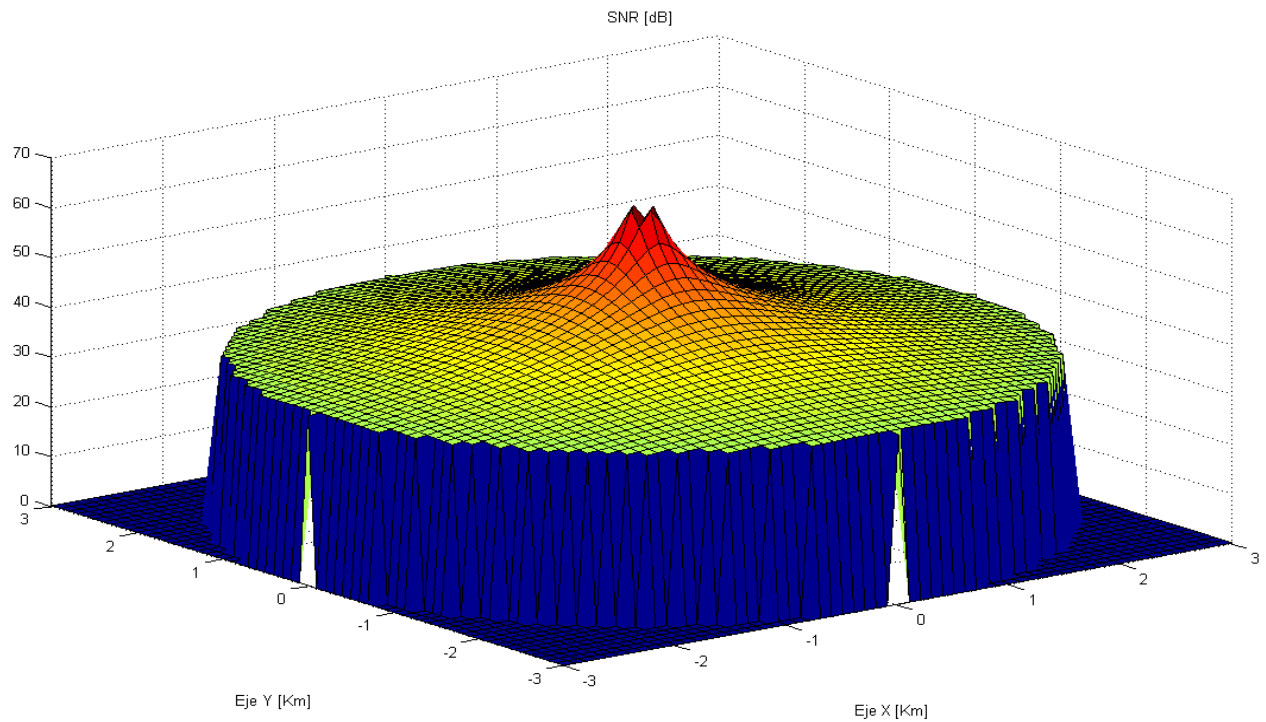


Figura 75: Representación 3-D de la SNR[dB], para $r=3$ Km y $n=2$.

Comparando esta gráfica con la obtenida para el caso de $n=3$, puede observarse que, en esta ocasión, la SNR alcanza los extremos de la región de cobertura con bastante más amplitud, al contar con un coeficiente de pérdidas que atenúa la potencia de la Señal de modo más suave con la distancia.

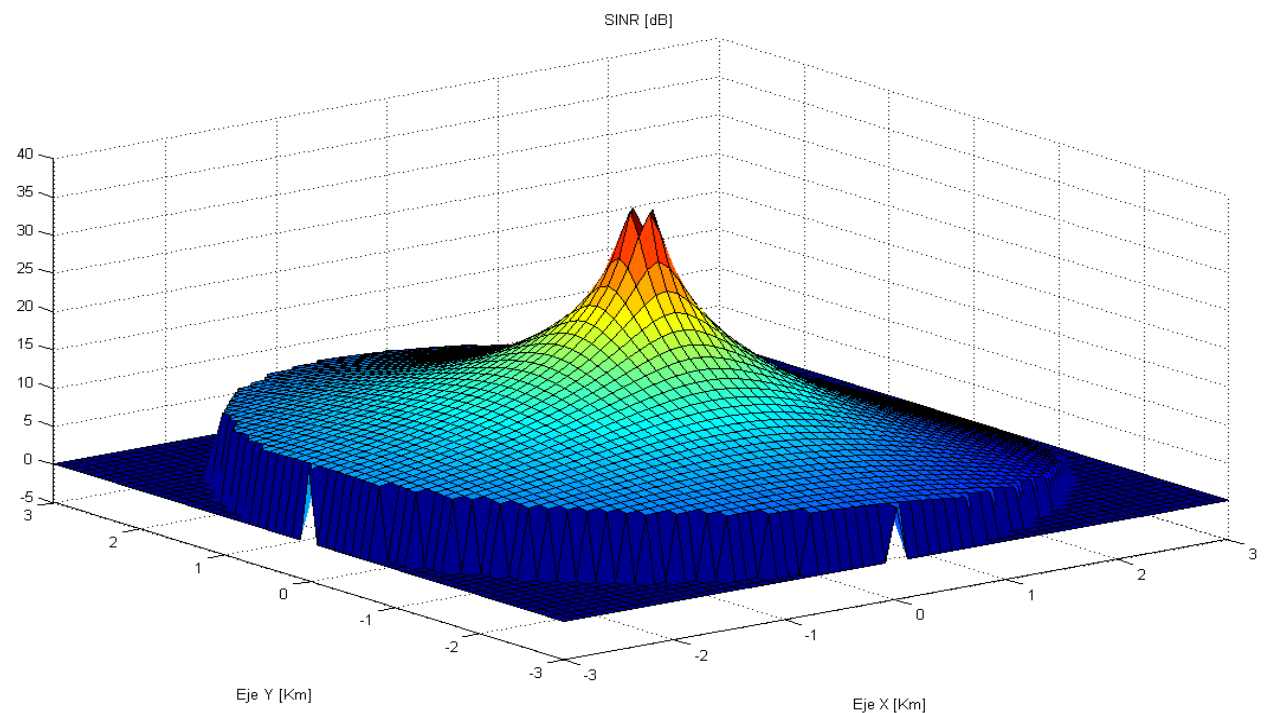


Figura 76: Representación 3-D de la SINR[dB], para $r=3$ Km y $n=2$.

En cuanto a la SINR con $n=2$, baste observar la escala del eje de amplitud para comprobar que es menor que la obtenida en el caso de $n=3$, dado que la señal interferente también alcanza la región de cobertura de la *EB1* menos atenuada que en el caso anterior. En definitiva, hay mayor interferencia.

A fin de apreciar con mayor claridad las diferencias en el empleo de distintos coeficientes de pérdidas, a continuación (página siguiente) se van a obtener los cortes, según los ejes X e Y, de la gráfica 3-D de la SINR, para diferentes valores de n .

Puede observarse que el corte según el eje Y presenta simetría par respecto del origen o posición de la *EB1*, dado que el escenario planteado tiene simetría especular respecto del eje X.

Sin embargo, no ocurre lo mismo con el eje X, en el que la distancia a la Estación Base Interferente (*EB2*) se reduce a medida que aumenta el valor de la coordenada. Como consecuencia de ello, puede apreciarse diferencia en el valor de la SINR alcanzado en ambos extremos de la célula:

$$\text{SINR}(x=3\text{Km}) < \text{SINR}(x=-3\text{Km})$$

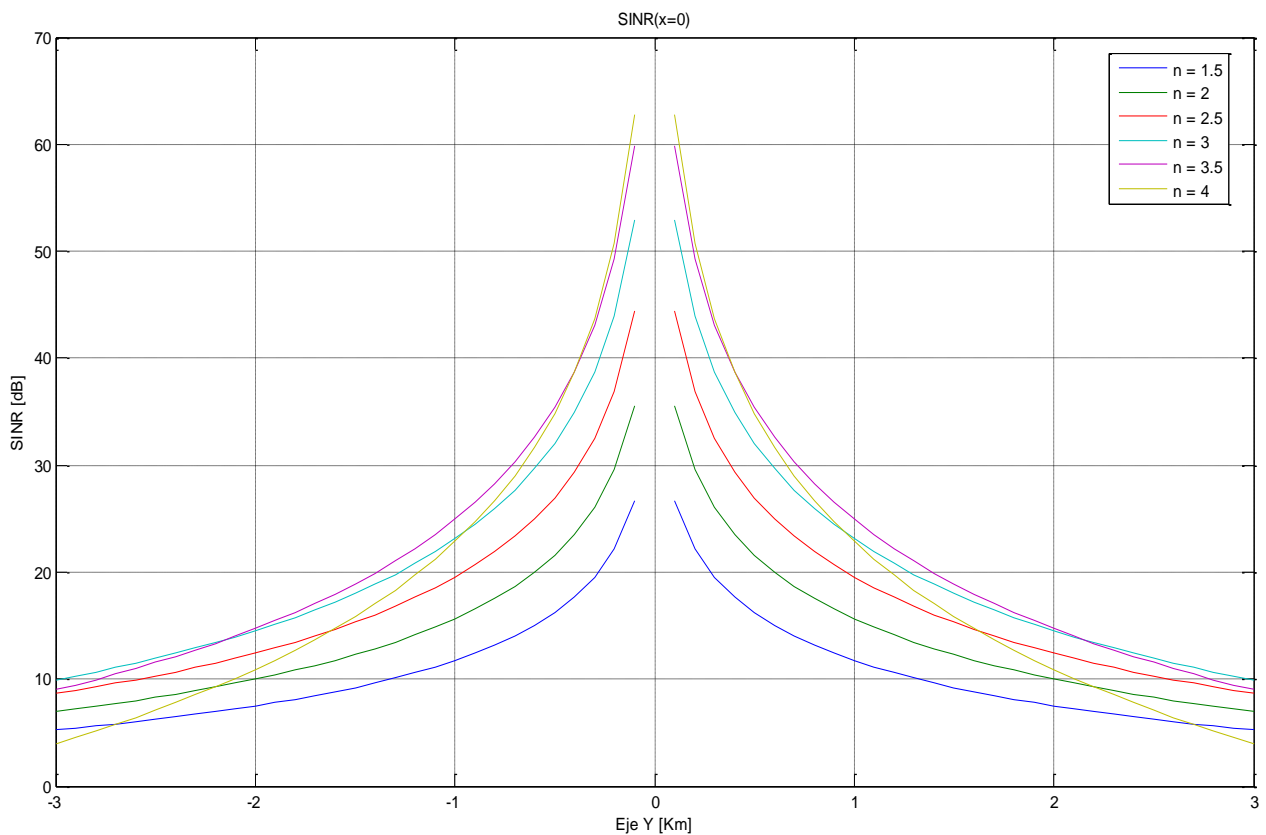


Figura 77: Corte de la gráfica 3-D de la SINR, según el eje Y, para diferentes valores de n .

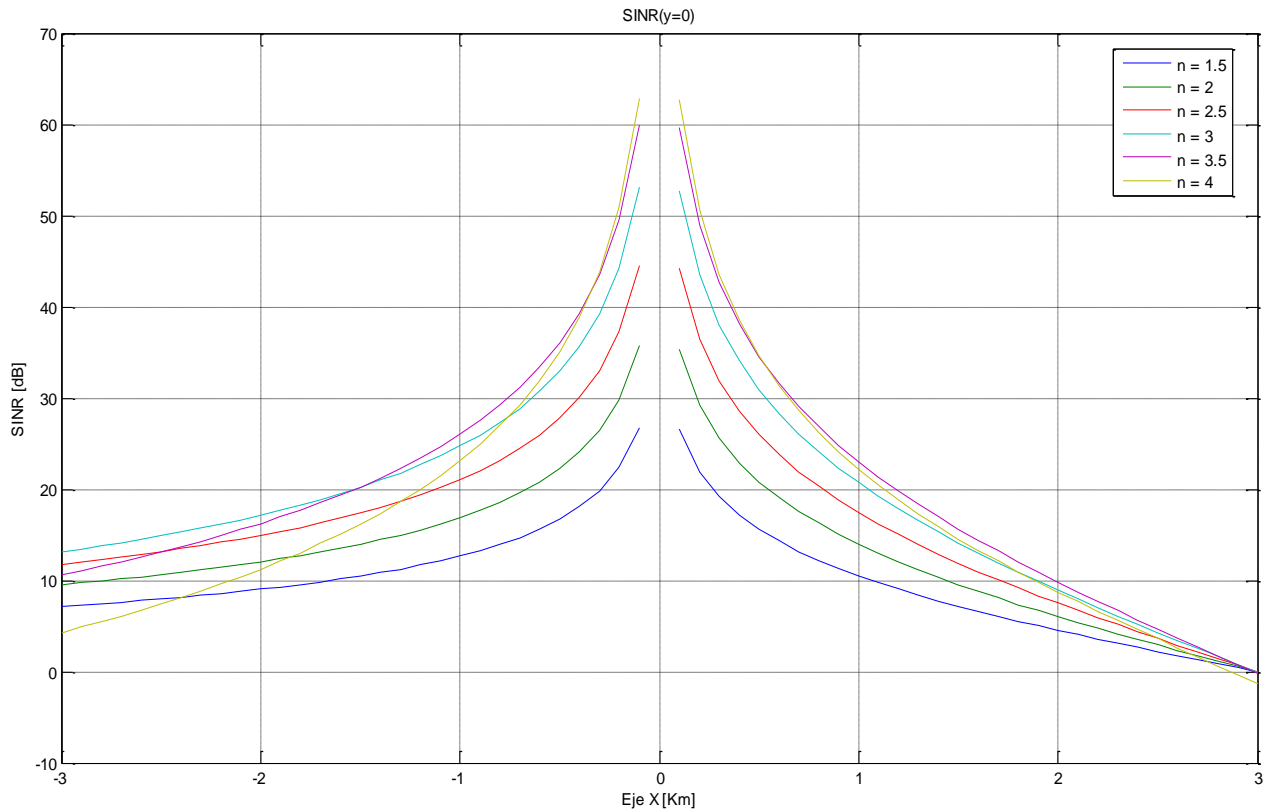


Figura 78: Corte de la gráfica 3-D de la SINR, según el eje X, para diferentes valores de n .

Observando la gráfica anterior en $x=3$, puede apreciarse con claridad el aplastamiento que experimenta la forma de la SINR en su mitad derecha, respecto de su otra mitad, como consecuencia de la mayor proximidad de la Estación Base Interferente (*EB2*), a medida aumenta la coordenada x .

Por otra parte, puede observarse que las curvas de SINR de los diferentes n no comienzan con la misma amplitud en las inmediaciones de la *EB1*, dificultando el poder apreciar, de forma directa, el grado de atenuación que experimenta cada una en relación a las demás.

Para ello, se va a normalizar cada una de las curvas de SINR respecto de su valor máximo representado en las gráficas, es decir, respecto de $SINR(x = d_0)$ o $SINR(y = d_0)$, dependiendo de si se trata del corte según el eje X o según el eje Y, respectivamente.

Las gráficas resultantes, mostradas a continuación, permiten la lectura directa de la atenuación de las diferentes curvas de SINR, en función de la distancia a la *EB1*, mostrando que esta atenuación es mayor conforme aumenta el valor del coeficiente n .

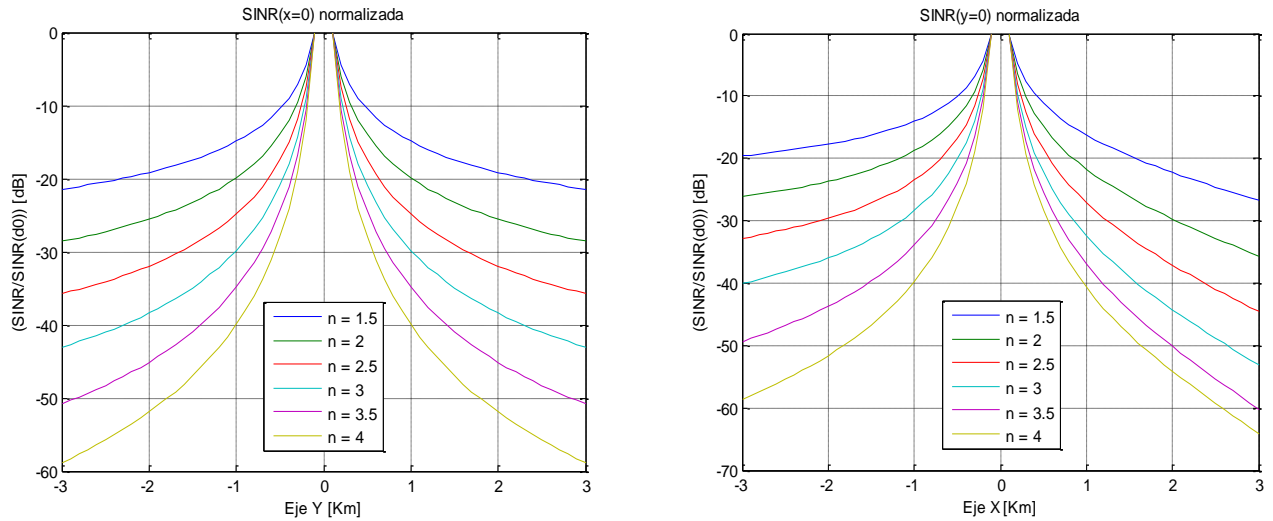


Figura 79: Cortes de SINR normalizada, según los ejes X e Y, para diferentes valores de n .

Sin perjuicio de lo anterior, comparando el valor de la atenuación en $x=-3$ y $x=3$ (gráfica derecha) para cada una de las curvas, se concluye que el valor del coeficiente n para el cual la SINR difiere más, entre los extremos de la célula, es $n=3$. Este resultado no es intuitivo y dependerá de la relación que, en cada caso particular (de coeficiente de pérdidas y de separación entre Estaciones Base), se establezca entre las potencias de señal, interferencia y ruido.

2.4.2.2. Dos Células Circulares Solapadas

En este apartado se va a analizar el caso de interferencia entre dos Estaciones Base, cuyas regiones de cobertura circular se encuentran solapadas:

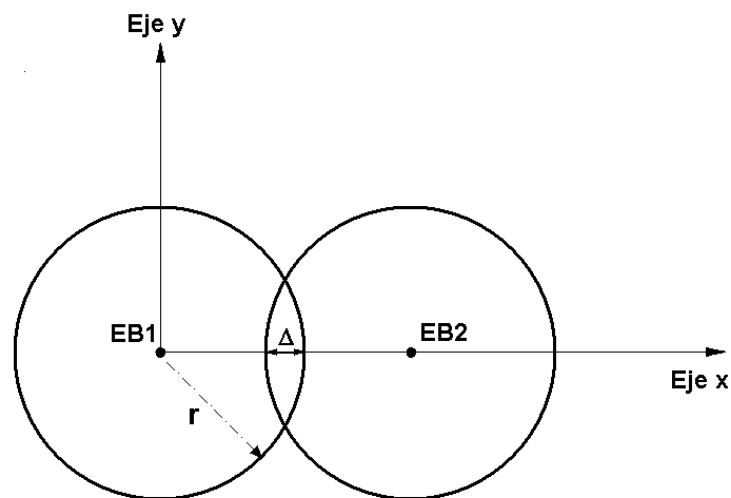


Figura 80: Representación de la interferencia entre dos Estaciones Base con regiones de cobertura solapadas.

Donde:

r : radio de cobertura de la célula $EB1$ y $EB2$.

Δ : máxima anchura de la región solapada.

L : máxima longitud de la región solapada (o lado del hexágono regular inscrito en la circunferencia).

El escenario planteado pretende ser una particularización, para el caso de dos células, del panal de células hexagonales regulares, en el que la distancia entre las Estaciones Base de dos células contiguas cualesquiera resultaba ser $d=\sqrt{3} \cdot r$.

Para llegar a dicho panal celular, se proponía un esquema basado en el solapamiento, dos a dos, de células circulares aisladas, dirimiéndose la titularidad de la cobertura en la zona solapada de cada pareja en favor de la Estación Base más próxima, bajo la presunción de que la intensidad de la señal recibida procedente de ella será mayor.

Bajo la consideración anterior, se propone el estudio de la interferencia producida en el terminal móvil en un escenario en el que hay dos células circulares idénticas ¹⁸ solapadas, cuyas Estaciones Base, $EB1$ y $EB2$, emplean el mismo radiocanal descendente y se encuentran separadas la longitud que distarían si formaran parte de un panal celular hexagonal regular:

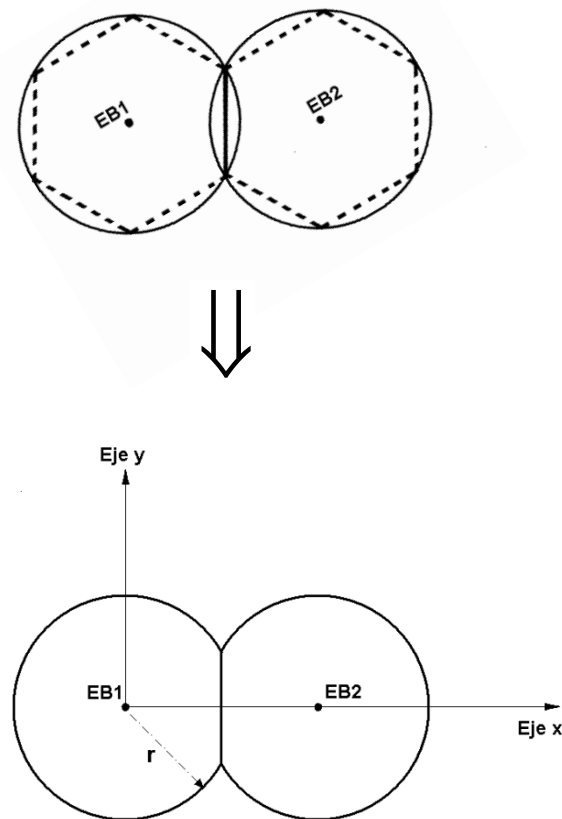


Figura 81: Discriminación de la titularidad de la cobertura, entre $EB1$ y $EB2$, en la región de solape.

¹⁸ Entiéndase en sentido amplio, es decir, no sólo que las regiones de cobertura sean iguales, sino que las Estaciones Base sean también idénticas.

En este escenario será:

$$d = \sqrt{3} \cdot r = 2r - \Delta < 2r$$

$$\Delta = 2r (1 - \cos 30^\circ) = r (2 - \sqrt{3}) \simeq 0.268 r$$

$$L = r$$

$$d1 \in [d_0, r]$$

$$d1_{max} = r > d2_{min}$$

$$d2_{min} = r \cos 30^\circ = r (\sqrt{3}/2)$$

$$d2_{max} = r (1 + 2 \cos 30^\circ) = r (1 + \sqrt{3})$$

Las coordenadas de las Estaciones Base serán:

$$EB1: (0,0)$$

$$EB2: (\sqrt{3} r, 0)$$

En la simulación siguiente se ha tomado un radio de cobertura $r=3$ Km (que, en este escenario, implica una separación $d \simeq 5.2$ Km de ambas EB) con un coeficiente de pérdidas de $n=3$:

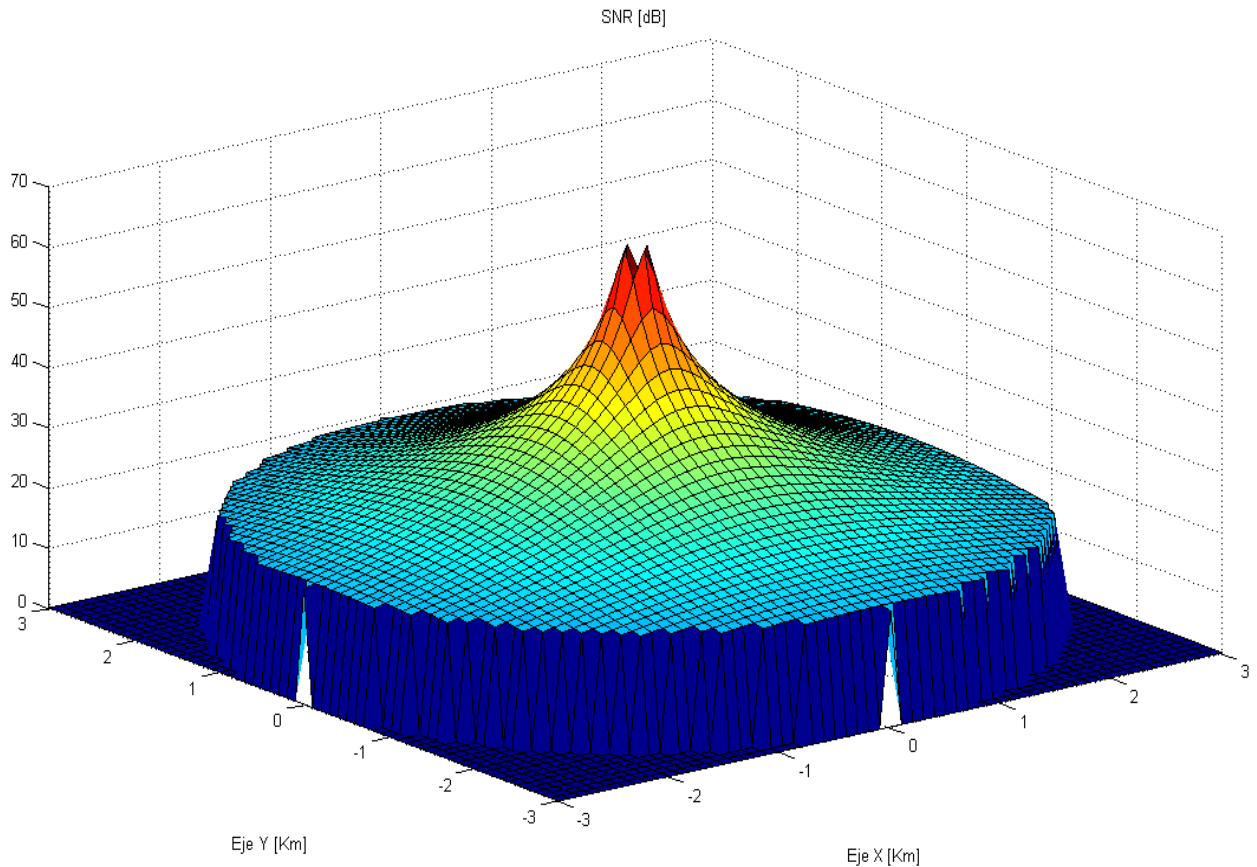


Figura 82: Representación 3-D de la SNR[dB], para $r=3$ Km y $n=3$.

Se observa que la gráfica de SINR es idéntica a la obtenida con el mismo coeficiente de pérdidas n en el apartado anterior (2.4.2.1), en el que no había solape de las regiones de cobertura de ambas Estaciones Base. La razón de ello es que, a efectos de la SINR en la región de cobertura de la *EB1*, la presencia de la *EB2* resulta irrelevante.

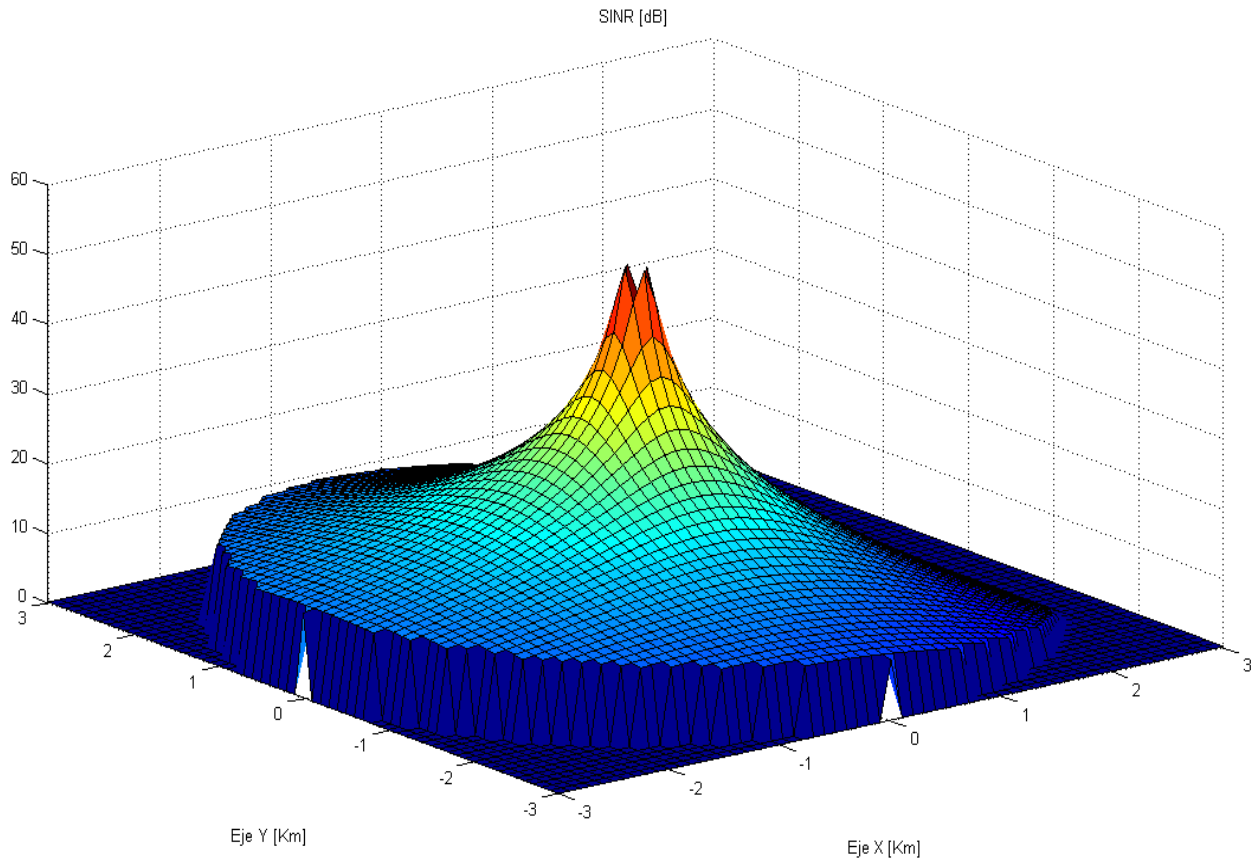


Figura 83: Representación 3-D de la SINR[dB], para $r=3$ Km y $n=3$.

En el escenario del apartado anterior (2.4.2.1.) las EB se encontraban algo más alejadas entre sí. Como consecuencia de ello, en este caso, la SINR presenta una menor amplitud general respecto de la correspondiente gráfica ($n=3$) del apartado anterior, que se manifiesta, sobre todo, en un mayor aplastamiento de la forma en su mitad derecha (semieje X positivo).

Nótese en ambas gráficas que sólo está representada la región de cobertura (real) de la *EB1*, motivo por el que se observa un valor 0 para $x \geq r - \Delta/2 \approx 2.6$ Km.

Se muestra a continuación la gráfica 3-D de SINR que se obtendría con un coeficiente de pérdidas $n=2$:

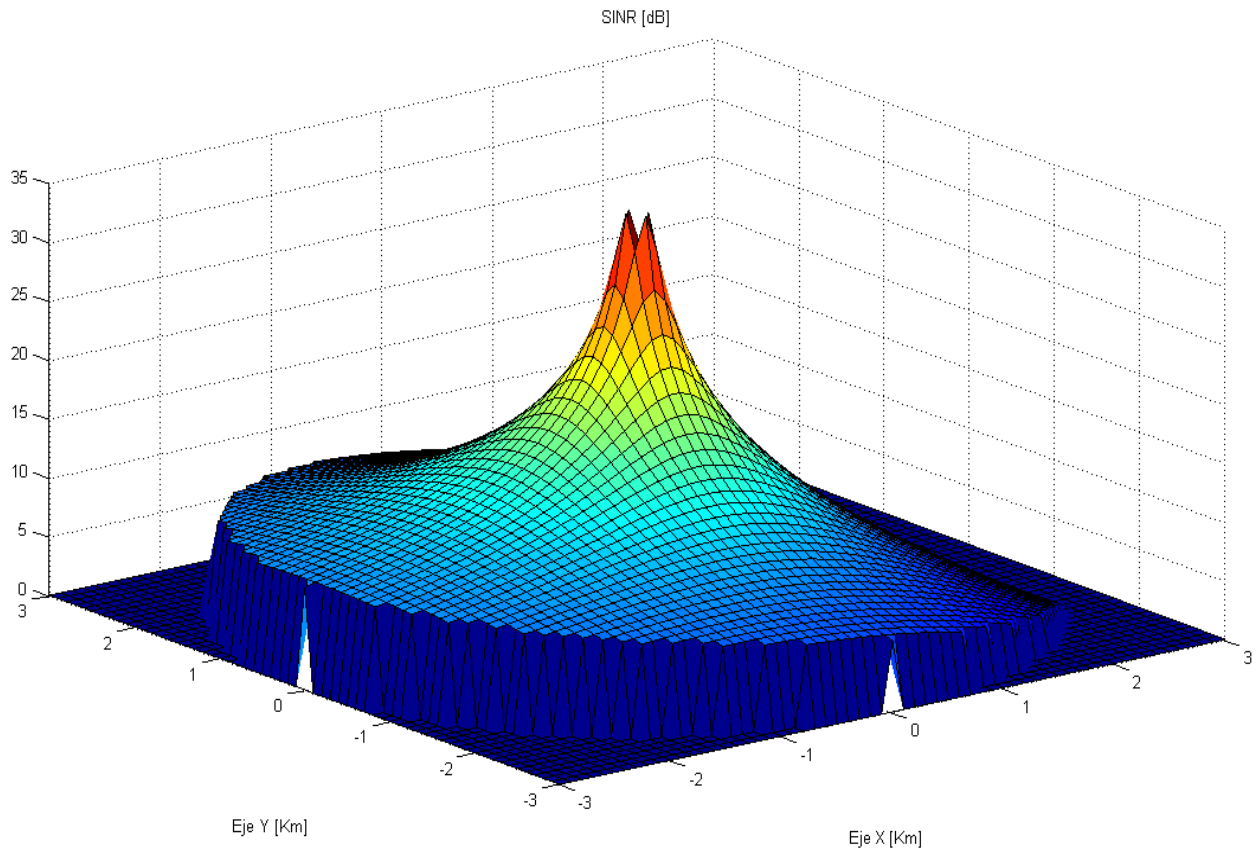


Figura 84: Representación 3-D de la SINR[dB], para $r=3$ Km y $n=2$.

Del mismo modo que se comentó en el caso límite de la interferencia entre dos células circulares aisladas (apartado 2.4.2.1), baste comparar la escala del eje de amplitud de esta gráfica con la de la gráfica anterior ($n=3$) para comprobar que ahora la SINR es menor, dado que la señal interferente alcanza la región de cobertura de la *EBI* menos atenuada en el caso de $n=2$. En definitiva, hay mayor interferencia.

La comparativa con la correspondiente gráfica ($n=2$) obtenida en el caso límite de interferencia entre dos células circulares aisladas (apartado 2.4.2.1), permite apreciar que la amplitud de la SINR en este caso resulta algo menor, como consecuencia de que las EB están algo más próximas, dando lugar a una mayor interferencia en sus regiones de cobertura.

A fin de apreciar con mayor claridad las diferencias en el empleo de distintos coeficientes de pérdidas, a continuación se van a obtener los cortes, según los ejes X e Y, de la gráfica 3-D de la SINR, para diferentes valores de n .

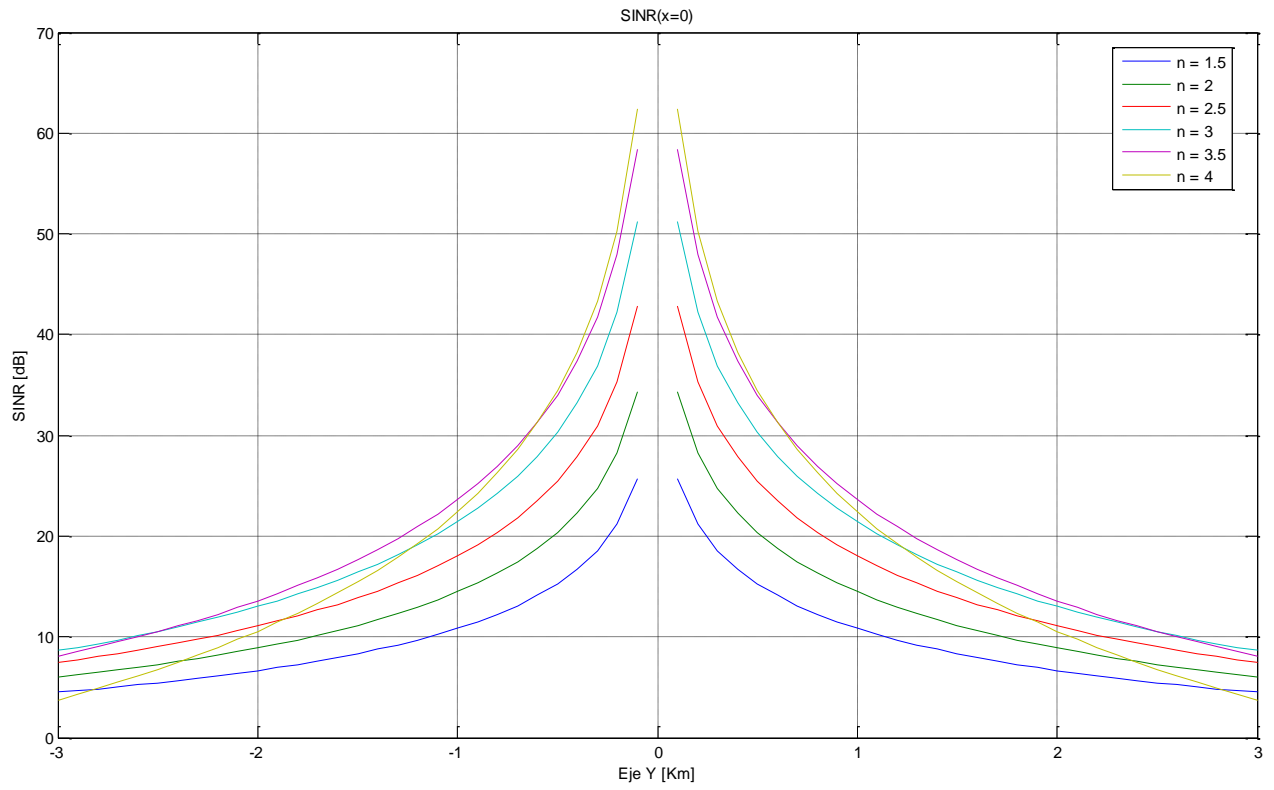


Figura 85: Corte de la gráfica 3-D de la SINR, según el eje Y, para diferentes valores de n .

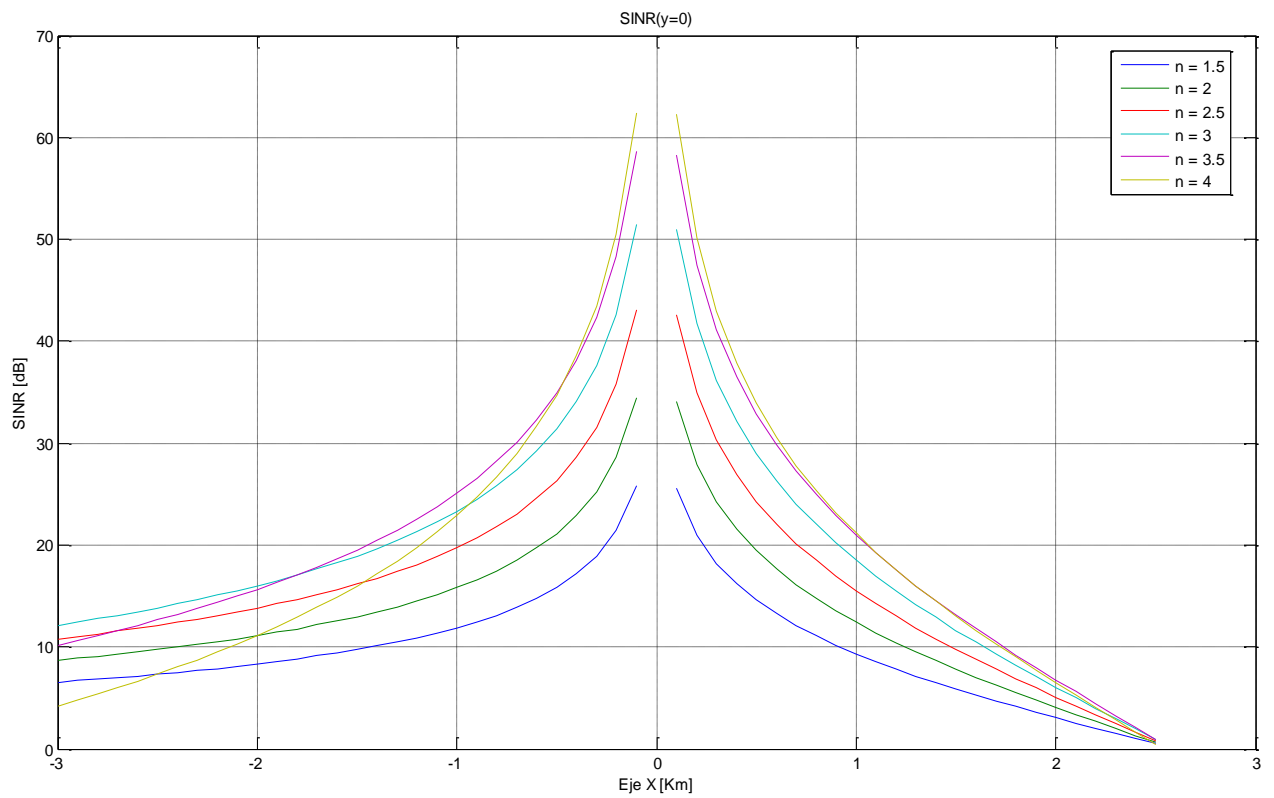


Figura 86: Corte de la gráfica 3-D de la SINR, según el eje X, para diferentes valores de n .

Como puede observarse, el corte según el eje Y presenta simetría par respecto del origen o posición de la *EB1*, dado que el escenario planteado tiene simetría especular respecto del eje X.

No ocurre lo mismo con el eje X, en el que la distancia a la Estación Base Interferente (*EB2*) se reduce a medida que aumenta el valor de la coordenada. Como consecuencia de ello, puede apreciarse con claridad el aplastamiento que experimenta la forma de la SINR en su mitad derecha.

Estableciendo una comparativa entre esta gráfica y la obtenida en el caso límite de interferencia entre dos células circulares aisladas (apartado 2.4.2.1), se observa que, en este caso, todas las curvas de SINR alcanzan un valor muy próximo a 0 dB en el extremo derecho de la célula ($x \approx 2.6$ Km), medio kilómetro antes que en el caso previo, como consecuencia de la mayor proximidad entre las Estaciones Base.

Por último, se muestran las curvas de SINR normalizadas,¹⁹ según los ejes Y (izquierda) y X (derecha):

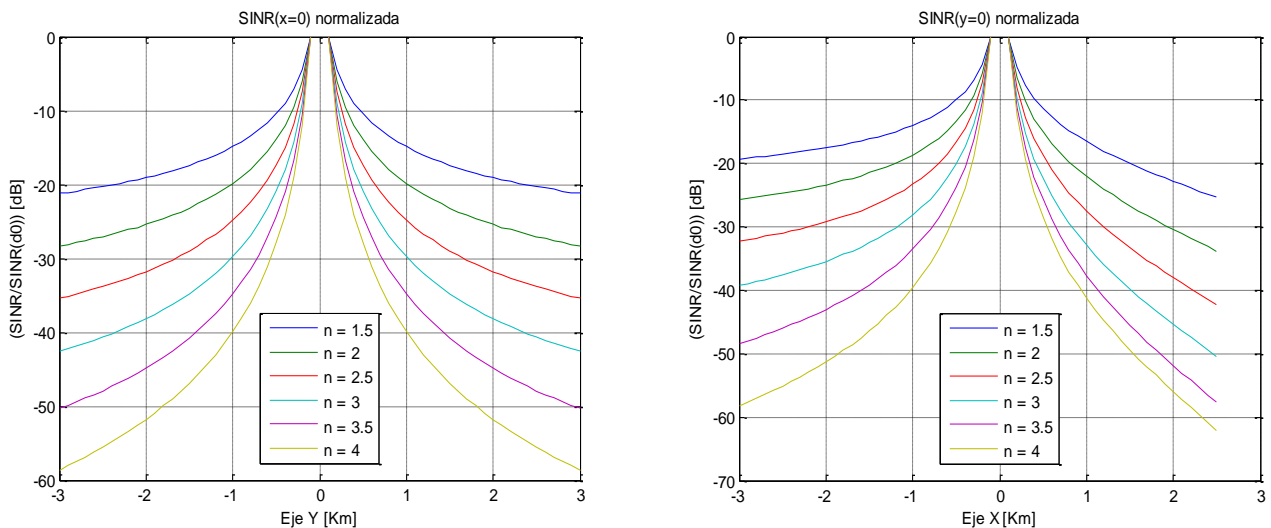


Figura 87: Cortes de SINR normalizada, según los ejes X e Y, para diferentes valores de n .

En estas gráficas puede observarse la atenuación de las diferentes curvas de SINR, en función de la distancia a la *EB1*, comprobándose que resulta mayor conforme aumenta el valor del coeficiente n .

Si se observa en detalle la gráfica de la izquierda en los extremos de la célula, se comprueba que las curvas no se separan en igual medida entre valores consecutivos del rango de n , como puede parecer a simple vista, existiendo la mayor separación entre las curvas de $n=3.5$ y $n=4$. En todo

¹⁹ Respecto de su valor máximo representado en las gráficas, es decir, respecto de $\text{SINR}(x = d_0)$ o $\text{SINR}(y = d_0)$, dependiendo de si se trata del corte según el eje X o según el eje Y, respectivamente.

caso, dependerá de la relación que, en cada caso particular (de coeficiente de pérdidas y de separación entre Estaciones Base), se establezca entre las potencias de señal, interferencia y ruido.

2.4.2.3. Panal de Siete Células Circulares Solapadas

Se propone el siguiente escenario como caso de estudio, en el que todas las Estaciones Base son idénticas y emplean el mismo radiocanal descendente, al igual que en los escenarios anteriores, siendo la distancia entre las Estaciones Base de dos células solapadas cualesquiera $\sqrt{3} r$.

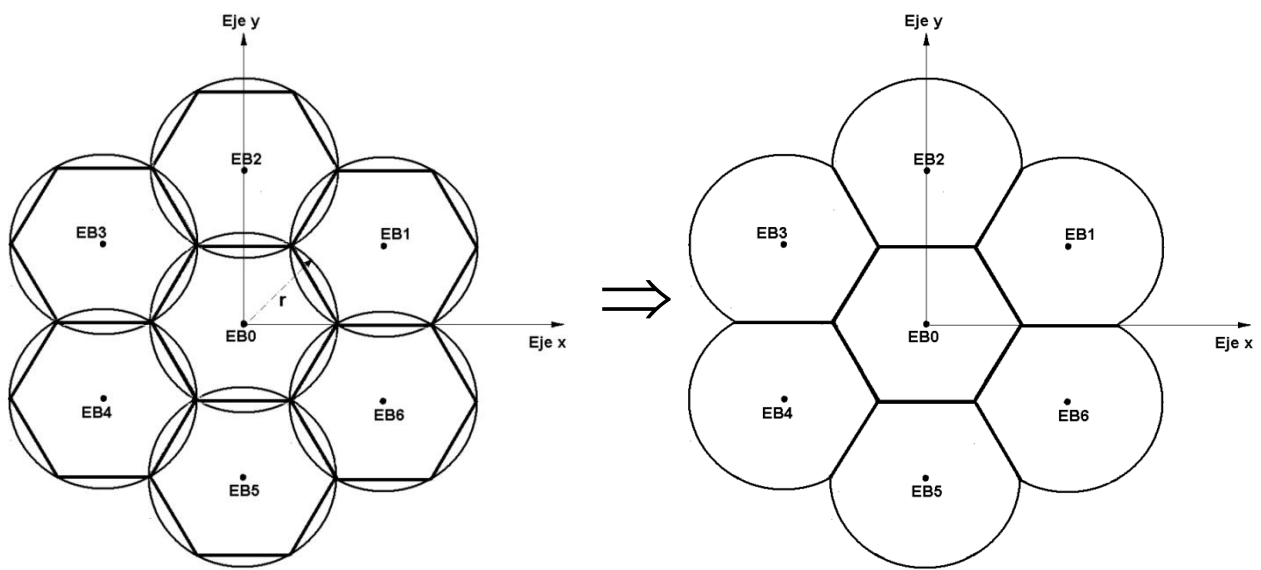


Figura 88: Discriminación de la titularidad de la cobertura en un panel de siete células circulares solapadas.

Se presuponen condiciones de propagación similares en la región ocupada por las siete células mostradas en la figura. Por consiguiente, se considerará el mismo factor n , en el modelo log-distancia, para el cálculo de las pérdidas de trayecto desde cualquiera de ellas, como ya se hiciera en los escenarios anteriores.

La figura presenta simetría especular respecto de aquellos ejes que pasan por $EB0$ y forman un ángulo múltiplo de 30° con el eje x . Como consecuencia de ello, uniendo la $EB0$ con cada una de las Estaciones Base periféricas, mediante una línea recta, resultan seis sectores de 60° . Dicho de otro modo, el arco que une las Estaciones Base de tres células periféricas enlazadas mide 120° con respecto a la posición de la $EB0$, según muestra la figura siguiente:

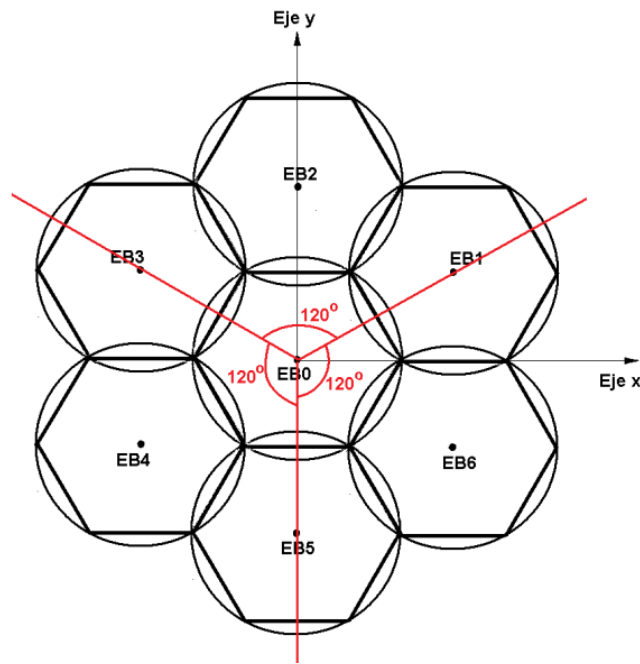


Figura 89: Disposición geométrica de las Estaciones Base Periféricas.

Por otra parte, teniendo en cuenta que la prolongación de los ejes cartesianos origina cuatro sectores de 90° , denominados cuadrantes, se desprende que las coordenadas de las Estaciones Base son las siguientes:

$$EB0: (0,0)$$

$$EB1: (\sqrt{3} \cdot r \cdot \cos 30^\circ, \sqrt{3} \cdot r \cdot \sin 30^\circ) = \left(\frac{3}{2}r, \frac{\sqrt{3}}{2}r \right)$$

$$EB2: (0, \sqrt{3} \cdot r)$$

$$EB3: (\sqrt{3} \cdot r \cdot \cos 150^\circ, \sqrt{3} \cdot r \cdot \sin 150^\circ) = \left(-\frac{3}{2}r, \frac{\sqrt{3}}{2}r \right)$$

$$EB4: (\sqrt{3} \cdot r \cdot \cos 210^\circ, \sqrt{3} \cdot r \cdot \sin 210^\circ) = \left(-\frac{3}{2}r, -\frac{\sqrt{3}}{2}r \right)$$

$$EB5: (0, -\sqrt{3} \cdot r)$$

$$EB6: (\sqrt{3} \cdot r \cdot \cos 330^\circ, \sqrt{3} \cdot r \cdot \sin 330^\circ) = \left(\frac{3}{2}r, -\frac{\sqrt{3}}{2}r \right)$$

A continuación, se va a mostrar en 3-D el aspecto que presenta la SNR y la SINR en la región de cobertura de la EB0, a fin de establecer una comparativa visual entre ambas, que permita apreciar el efecto de la interferencia conjunta de las seis EB que la rodean.

En la simulación siguiente se ha tomado un radio de cobertura $r=3$ Km, con un coeficiente de pérdidas de $n=3$:

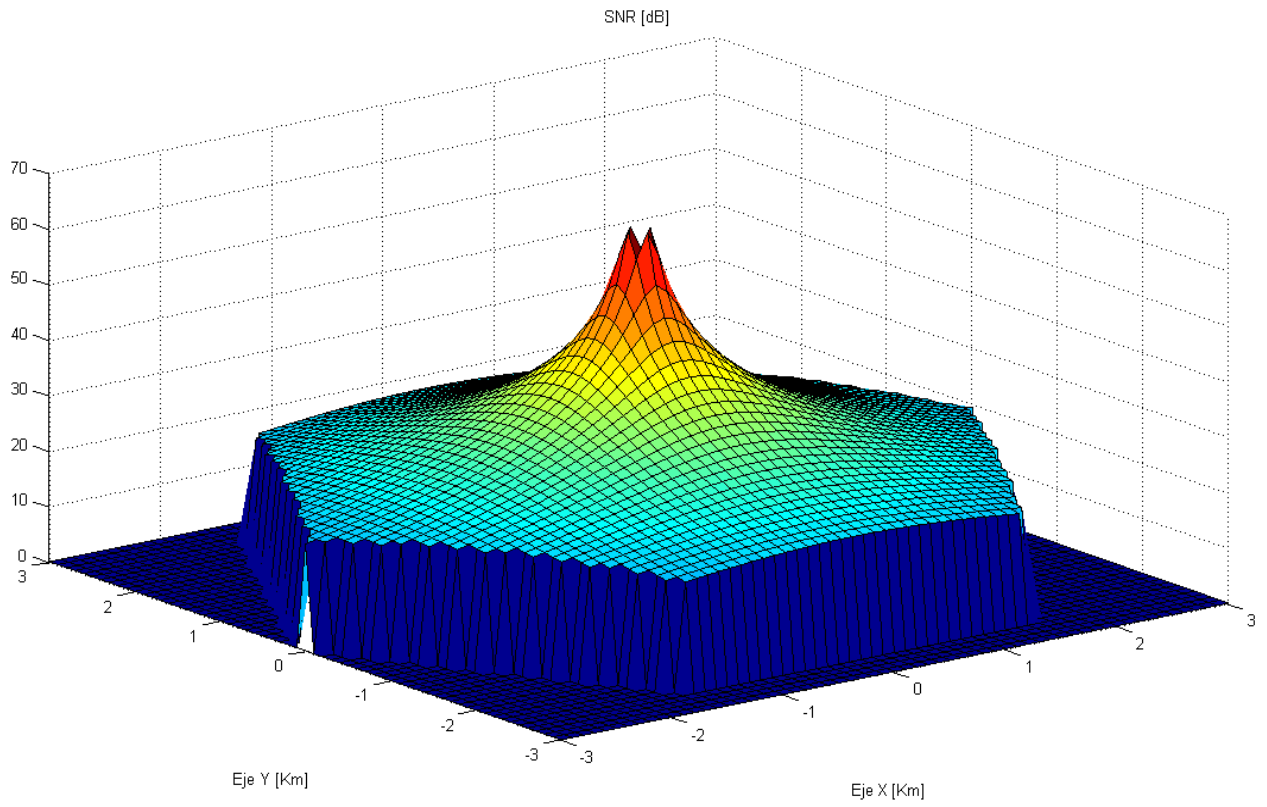


Figura 90: Representación 3-D de la SNR[dB], para $r=3$ Km y $n=3$.

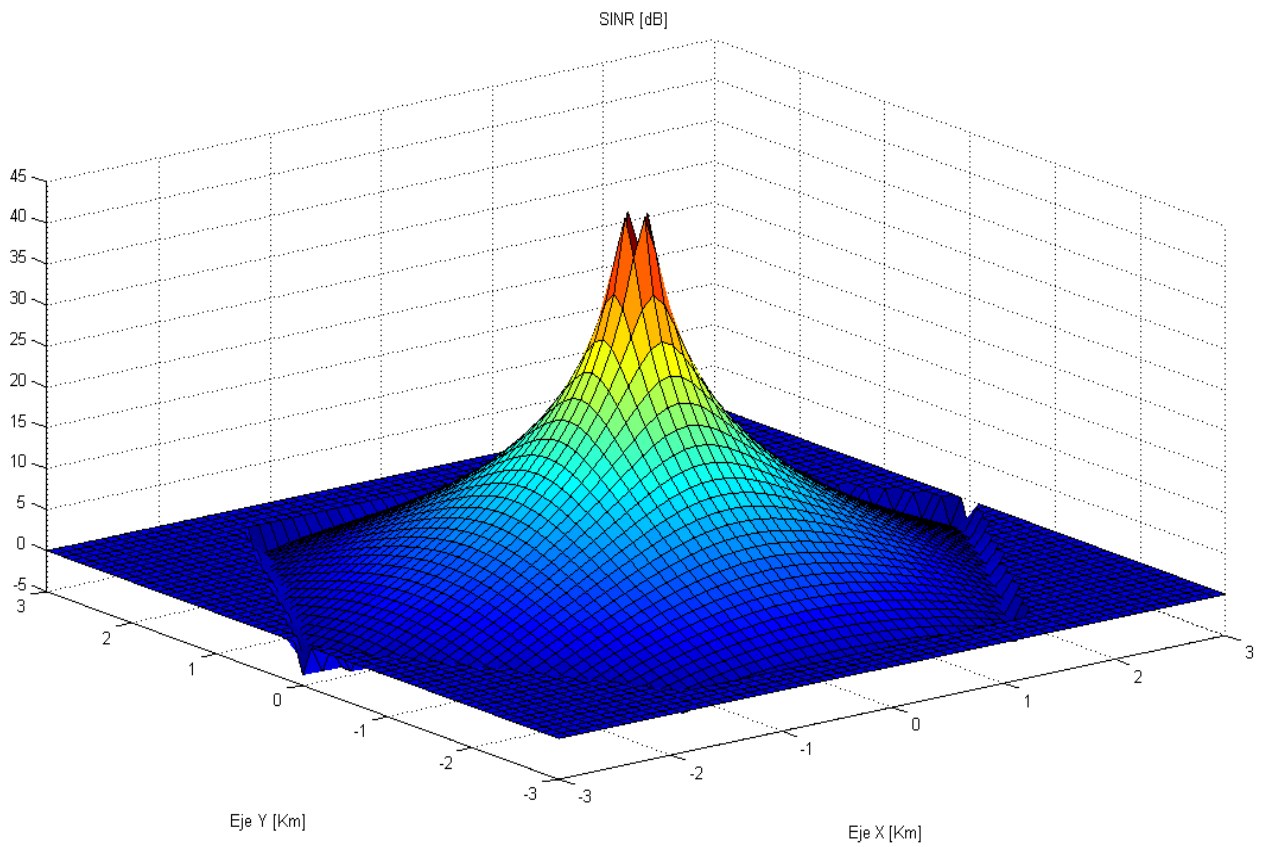


Figura 91: Representación 3-D de la SINR[dB], para $r=3$ Km y $n=3$.

La separación de la *EB0* con cualquiera de las EB periféricas es la misma que distaban las dos EB del apartado 2.4.2.2 (interferencia entre dos células circulares solapadas). El aplastamiento en la forma de la SINR, patente entonces en la zona limítrofe con la única célula interferente, ahora se manifiesta por igual en los seis sectores de la región de cobertura de la *EB0*.

La interferencia conjunta de las seis EB interferentes sobre la región de cobertura de la *EB0*, resulta considerablemente mayor que la existente en el mismo caso ($n=3$) del apartado 2.4.2.2, observándose que la SINR, en este caso, se hace negativa²⁰ en los extremos de la célula.

A continuación, se van a obtener los cortes, según los ejes X e Y, de la gráfica 3-D de la SINR, para diferentes valores de n . Puede comprobarse en la página siguiente que, en este caso, ambas gráficas presentan simetría par respecto del origen, a diferencia de los apartados anteriores.

Como curiosidad, puede observarse que ambos cortes resultan casi idénticos hasta una distancia de la *EB0* bastante próxima a la del extremo más cercano de su región de cobertura, pese a que la disposición de las EB interferentes respecto de ambos ejes es completamente distinta.

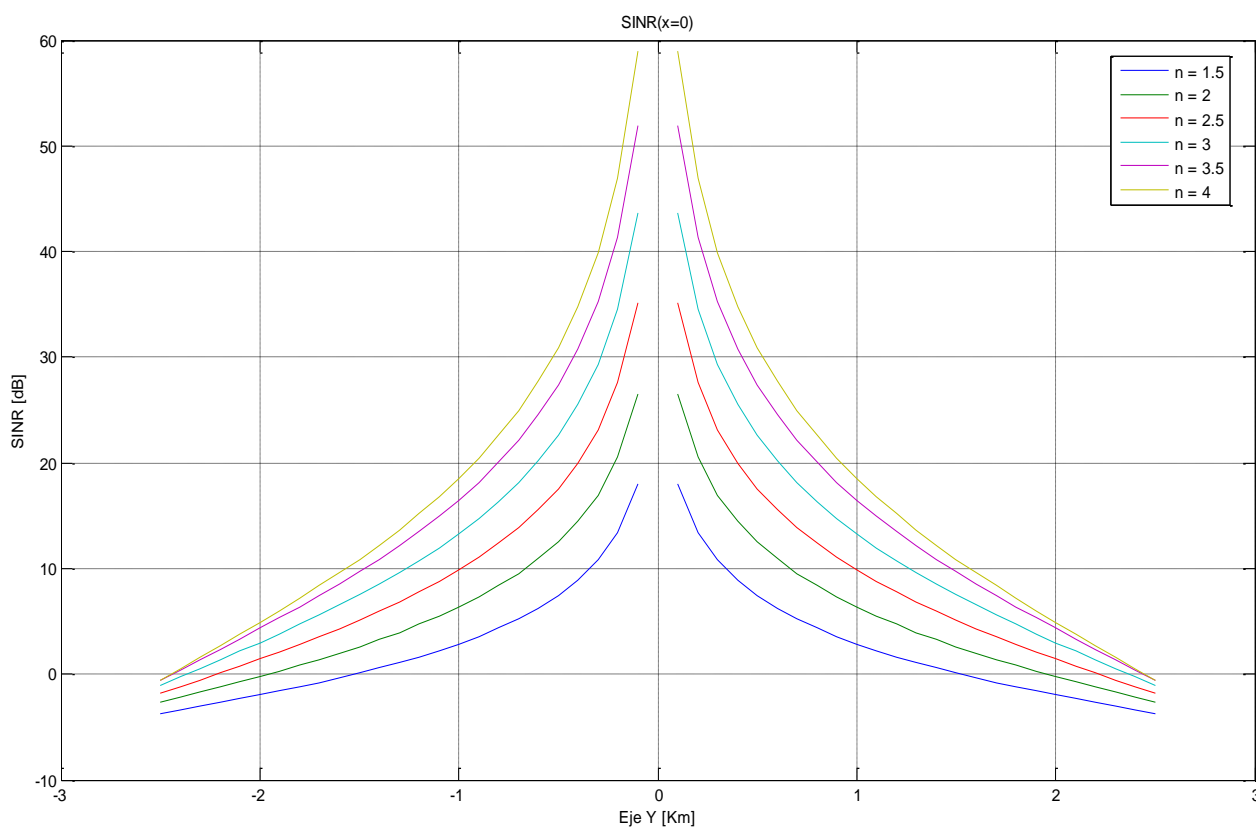


Figura 92: Corte de la gráfica 3-D de la SINR, según el eje Y, para diferentes valores de n .

²⁰ Expresada en dB.

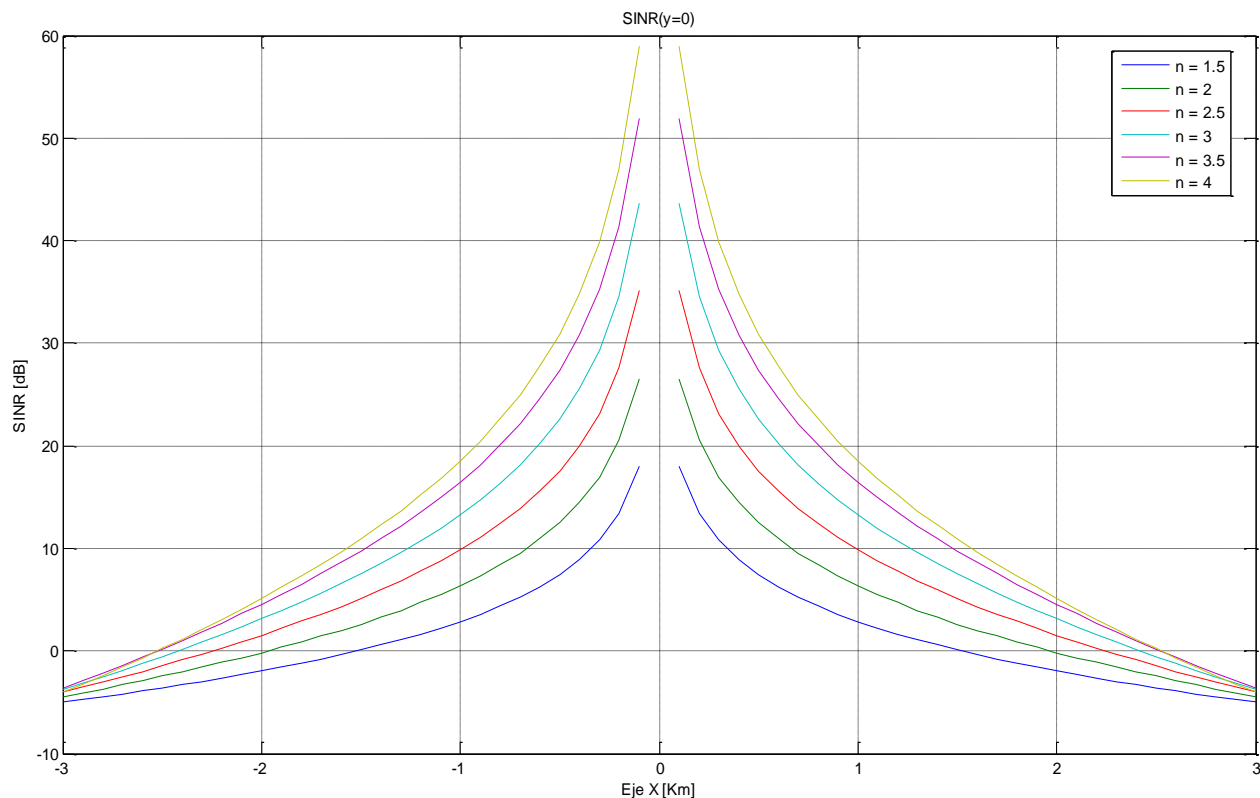


Figura 93: Corte de la gráfica 3-D de la SINR, según el eje X, para diferentes valores de n .

A continuación, se muestran las curvas de SINR normalizadas²¹, según los ejes Y (izquierda) y X (derecha):

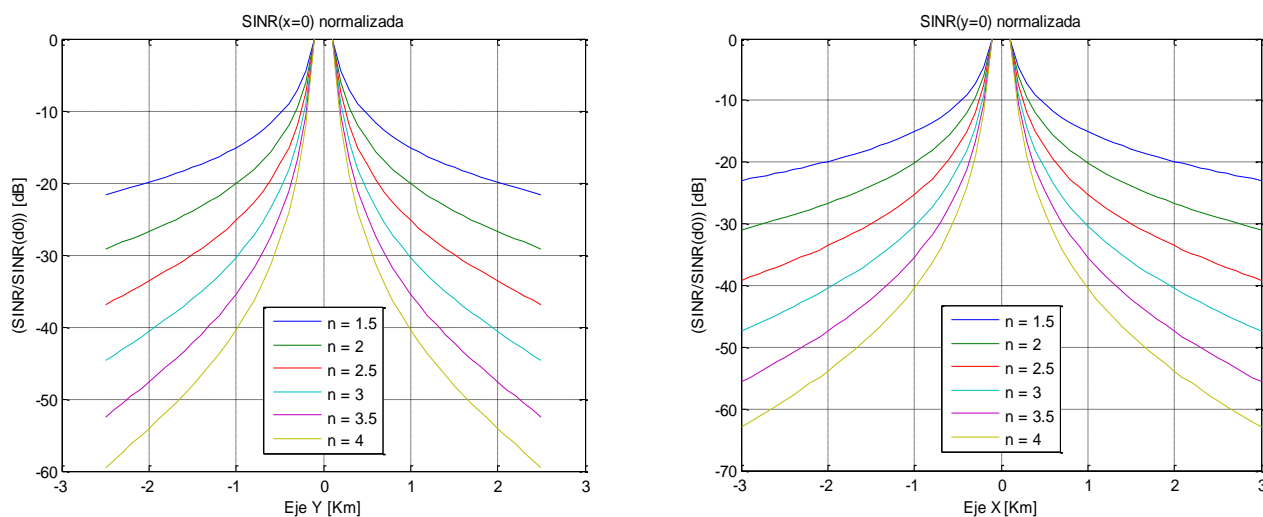


Figura 94: Cortes de SINR normalizada, según los ejes X e Y, para diferentes valores de n .

²¹ Respecto de su valor máximo representado en las gráficas, es decir, respecto de $\text{SINR}(x = d_0)$ o $\text{SINR}(y = d_0)$, dependiendo de si se trata del corte según el eje X o según el eje Y, respectivamente.

Las simulaciones realizadas bajo este escenario, para el análisis de la región de cobertura de la *EB0*, demuestran que, tanto la SINR, como la SNR, alcanzan su mínimo valor en los vértices del hexágono.

En las tablas siguientes se muestra el valor mínimo de SNR y de SINR obtenido en la región de cobertura de la *EB0*, para distintos radios de cobertura y coeficientes de pérdidas:

	n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
r							
1.5 Km		45.87	39.99	34.11	28.23	22.35	16.47
3 Km		41.36	33.97	26.59	19.20	11.82	4.43
6 Km		36.84	27.95	19.06	10.17	1.28	-7.61

Tabla 2:

Valor mínimo de la SNR[dB] en la región de cobertura de la *EB0*.

	n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
r							
1.5 Km		-5.01	-4.45	-4.03	-3.73	-3.52	-3.40
3 Km		-5.01	-4.45	-4.03	-3.75	-3.63	-4.02
6 Km		-5.01	-4.45	-4.05	-3.90	-4.75	-8.99

Tabla 3:

Valor mínimo de la SINR[dB] en la región de cobertura de la *EB0*.

Como cabía esperar, puede comprobarse que el valor mínimo de SNR en la región de cobertura de la *EB0* disminuye a medida que aumenta el radio de cobertura r de la misma. Sin embargo, resulta interesante comprobar que, para valores bajos del coeficiente de pérdidas ($n \leq 3$), la geometría de este escenario mantiene el valor mínimo de SINR alcanzado en la región de cobertura de la *EB0*²², a pesar de que varíe la separación entre las distintas EB (determinada por $d = \sqrt{3} r$).

²² Con relativa independencia del ancho de banda equivalente de ruido del terminal móvil (o ancho de banda del canal de trabajo). Téngase en cuenta que en los extremos de la célula el nivel de potencia de ruido va a resultar despreciable frente al nivel de potencia interferente, aun cuando el ancho de banda equivalente de ruido sea relativamente grande, como el empleado en estas simulaciones ($B_{eq}=20$ MHz).

2.5. ANÁLISIS DEL BORDE DE LA REGIÓN DE COBERTURA

En todos los casos de este capítulo se considerará una **población uniformemente distribuida** de móviles en la región de cobertura de la *EB0*.

2.5.1. SINR bajo Cobertura Hexagonal Regular

En este apartado se va a considerar el siguiente escenario, consistente en un núcleo celular aislado formado a partir de siete células circulares idénticas de radio $r = 3$ Km, solapadas de tal forma que una célula hexagonal regular, correspondiente a la *EB0*, se encuentra rodeada por otras seis Estaciones Base que emplean el mismo radiocanal descendente.

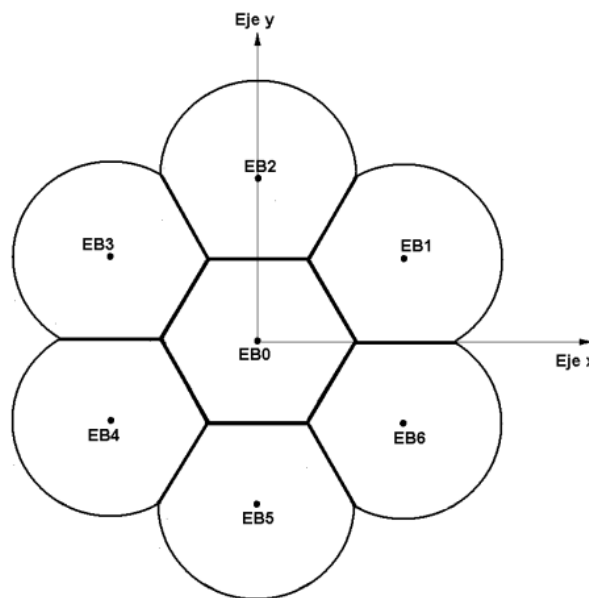


Figura 95: Escenario bajo estudio en el presente apartado.

En las simulaciones se van a tomar los mismos parámetros de trabajo del Enlace Descendente definidos en el capítulo 2.3.

A fin de obtener una buena definición en los histogramas de población se considerará un número de terminales móviles suficientemente grande, **uniformemente distribuidos** en la región de cobertura de la *EB0*, siendo dicho número irrelevante para el estudio.

Resultan las siguientes gráficas de Función de Distribución de Probabilidad Estimada de SINR[dB] (izquierda) y de R[Mbps] (derecha) en la célula *EB0*, para los distintos valores del coeficiente n :

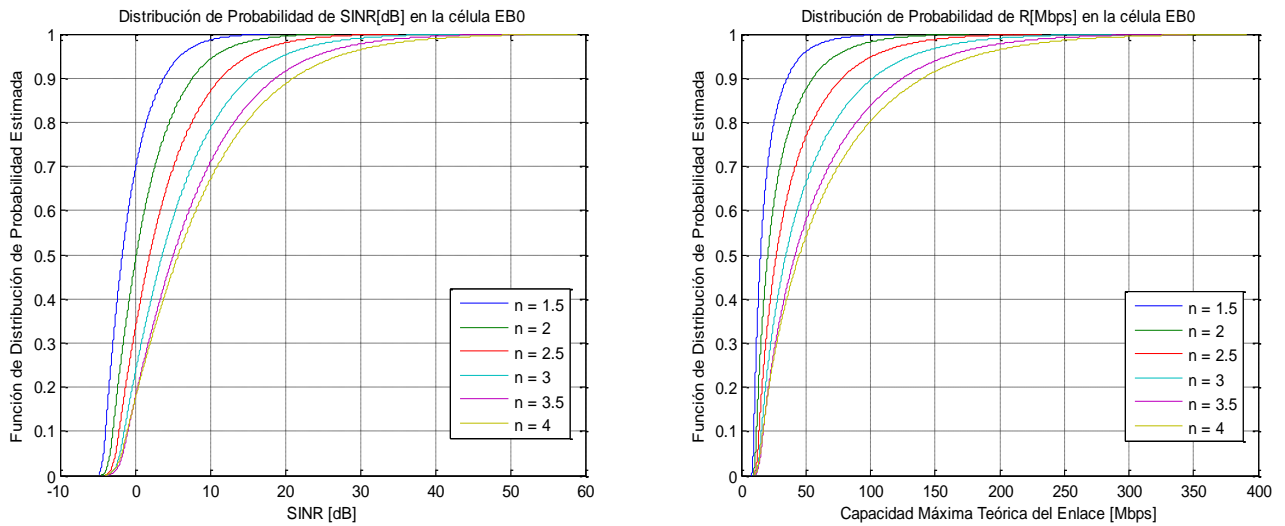


Figura 96: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y de $CDF(R[Mbps])$ en la célula *EB0*.

A continuación, se muestran los histogramas de SINR en la célula *EB0*, para $n=2$ (izquierda) y $n=3$ (derecha):

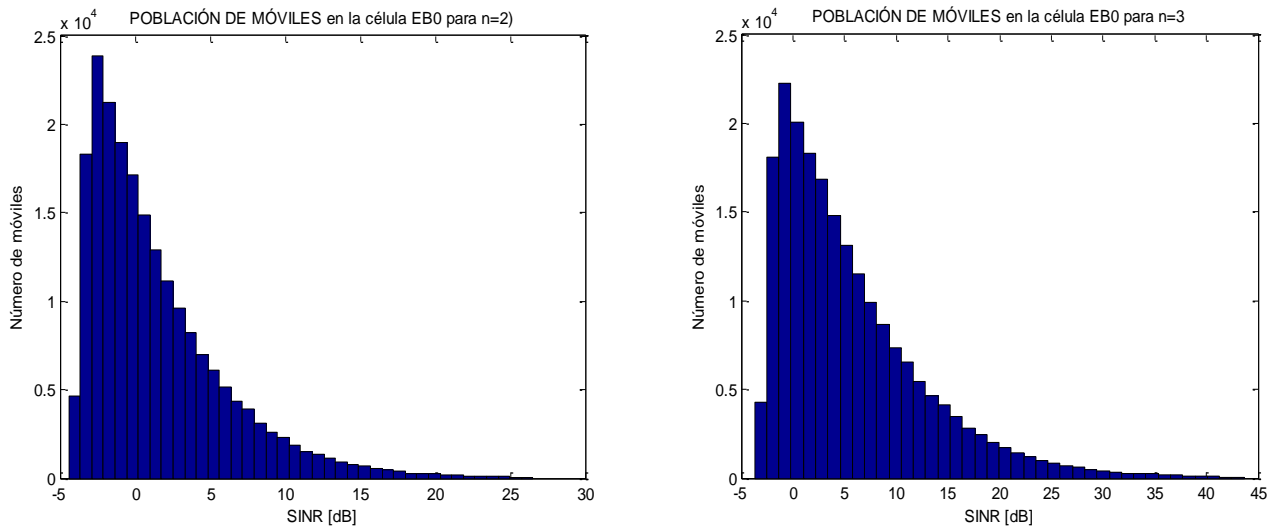


Figura 97: Distribución de Población en la célula *EB0*, en función de la SINR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

En las gráficas siguientes se muestran las envolventes normalizadas de los histogramas anteriores:

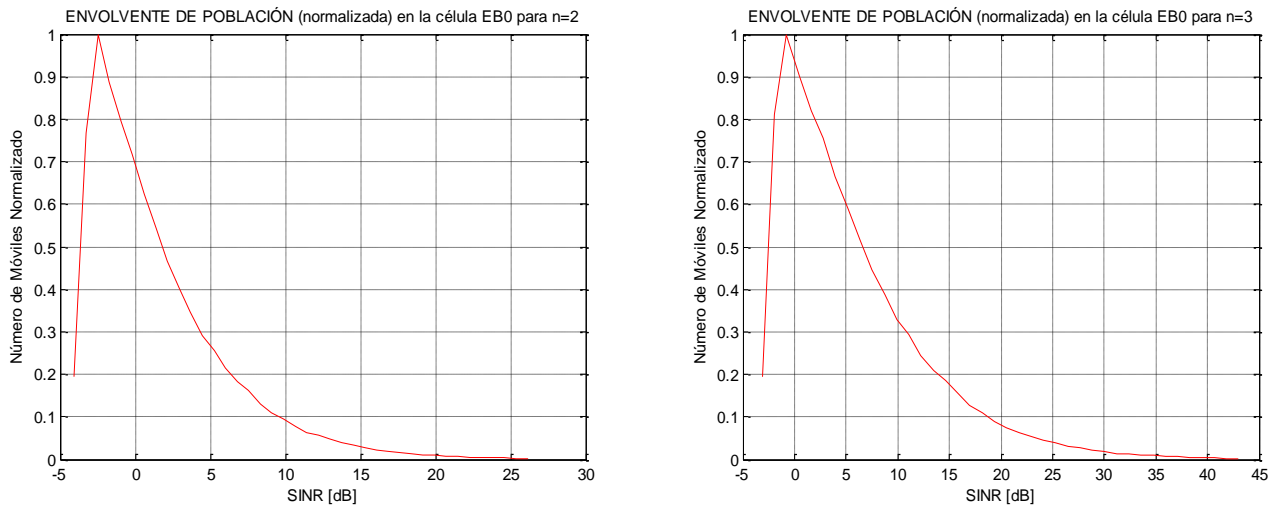


Figura 98: Envoltentes de Población en la célula *EB0*, en función de la SINR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Para comparar los histogramas de los distintos valores de n , se representa de forma conjunta las envoltentes resultantes:

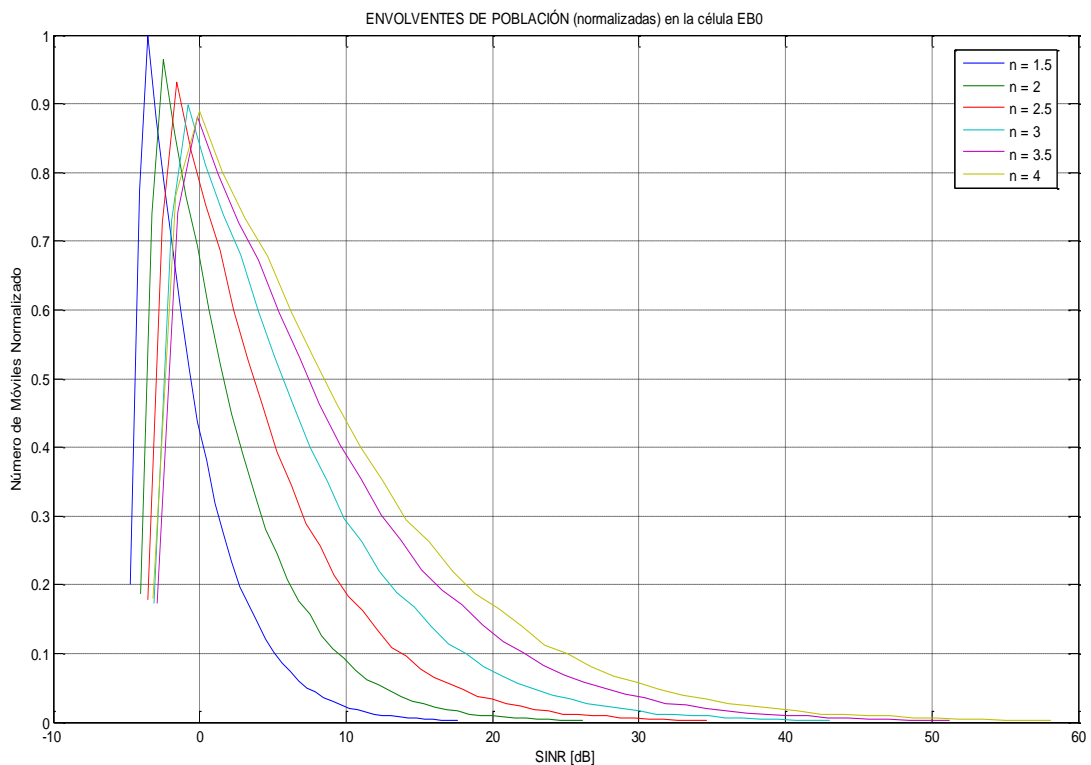


Figura 99: Envoltentes de Población, en función de la SINR[dB], para los distintos valores de n .

Se observa que aparece una pendiente por la izquierda, que no existía en los histogramas de SNR obtenidos en el estudio de la célula circular aislada. Cabe preguntarse, por tanto, si se debe al hecho de haber empleado región de cobertura hexagonal regular, en lugar de circular. Para averiguarlo, se va a realizar el experimento del siguiente apartado.

2.5.2. SINR bajo Cobertura Circular

Se va a realizar la misma simulación del apartado anterior, pero considerando la célula *EB0* bajo el modelo de célula circular aislada, es decir, en lugar de tomar como región de cobertura de la misma el hexágono regular de la simulación anterior, se tomará el círculo de $r=3$ Km en el cual se encuentra inscrito.

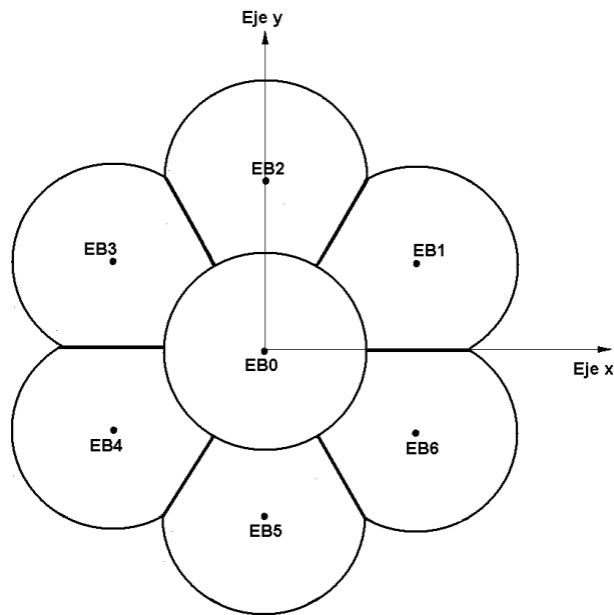


Figura 100: Escenario bajo estudio en el presente apartado.

Resultan las siguientes gráficas de Función de Distribución de Probabilidad Estimada de SINR[dB] (izquierda) y de R [Mbps] (derecha) en la célula *EB0*, para los distintos valores del coeficiente n :

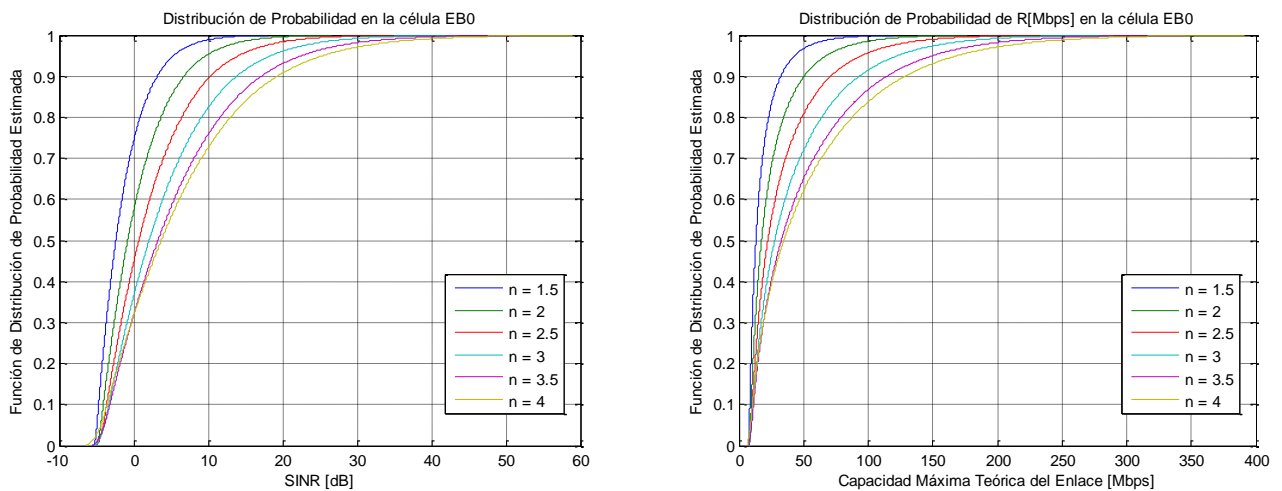


Figura 101: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y de $CDF(R[Mbps])$ en la célula *EB0*.

A continuación, se muestran los histogramas de SINR en la célula EB0, para $n=2$ (izquierda) y $n=3$ (derecha):

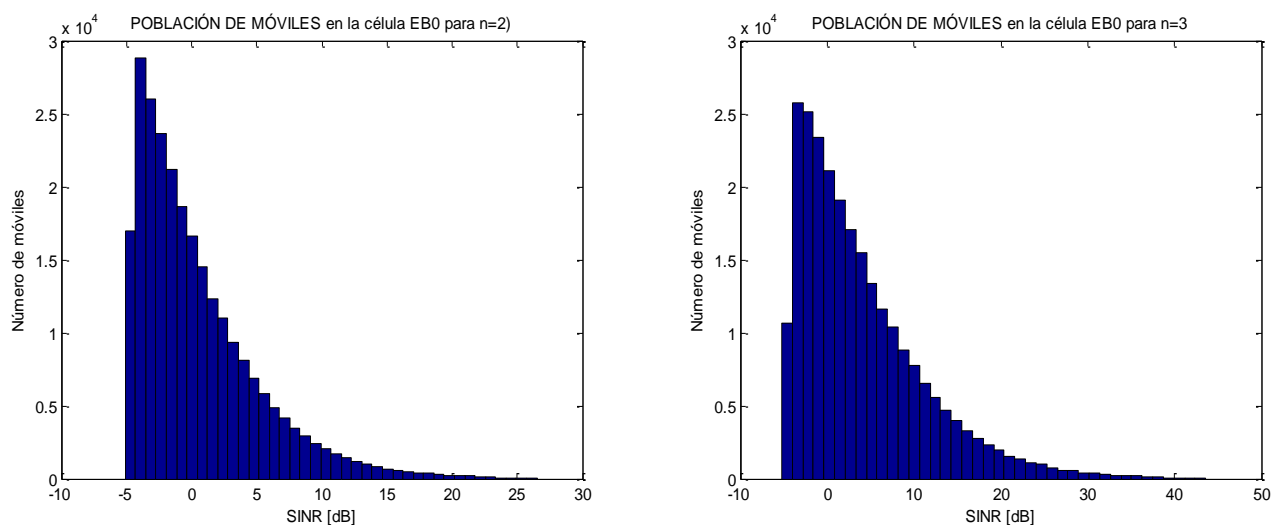


Figura 102: Distribución de Población en la célula EB0, en función de la SINR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

En las gráficas siguientes se muestran las envolventes normalizadas de los histogramas anteriores:

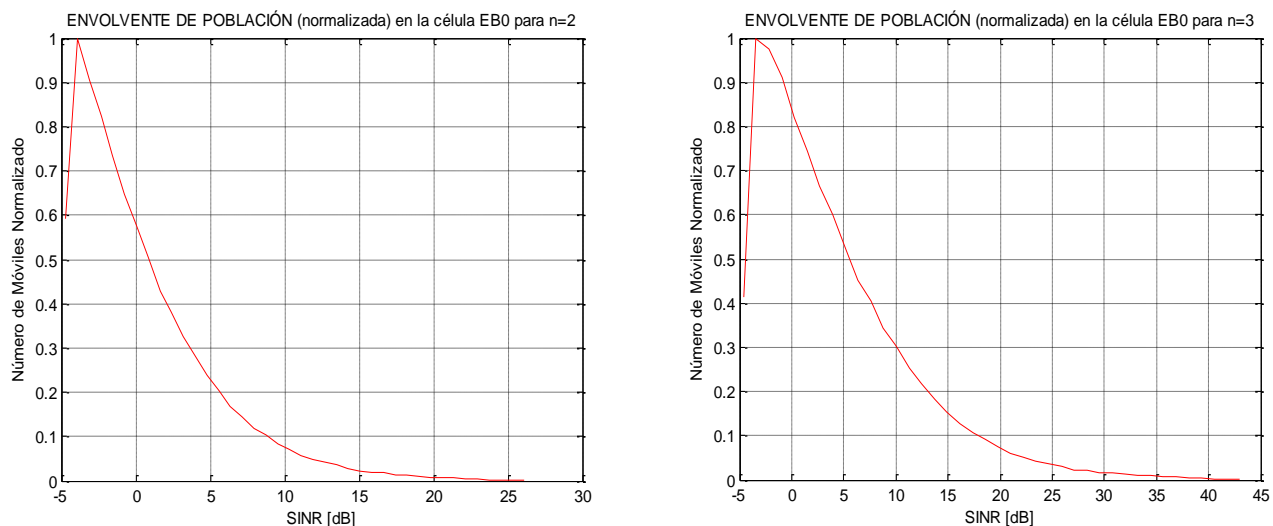


Figura 103: Envolventes de Población en la célula EB0, en función de la SINR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Para comparar los histogramas de los distintos valores de n , se representa de forma conjunta las envolventes resultantes:

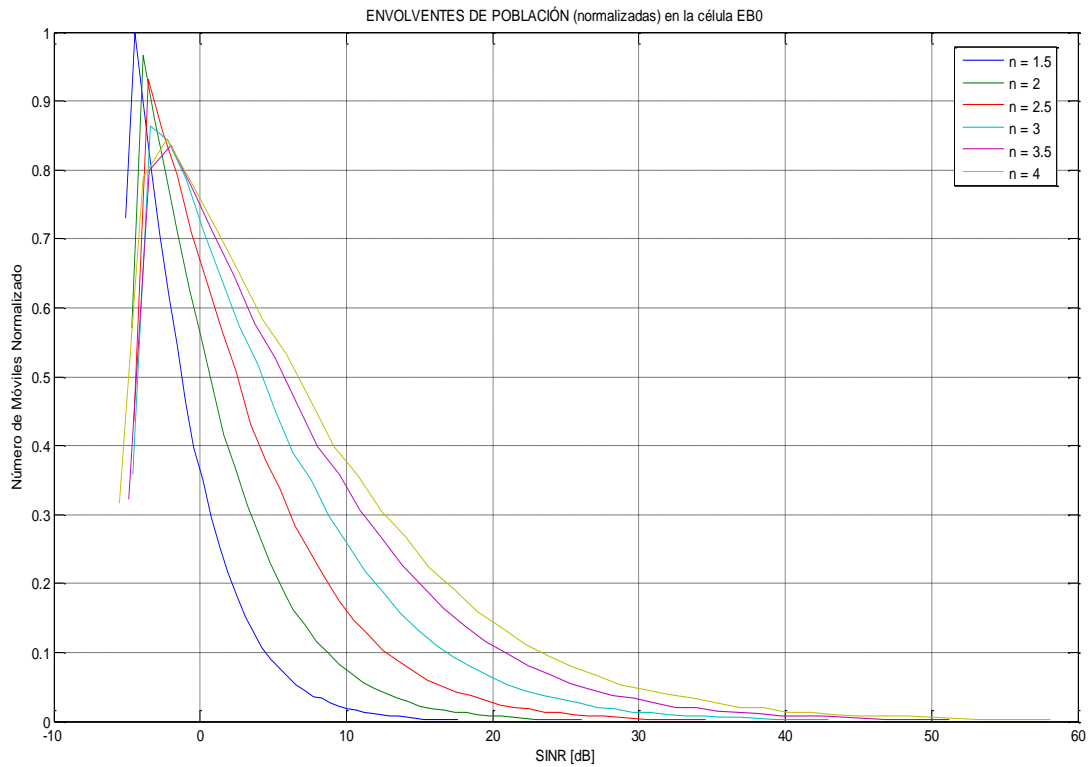


Figura 104: Envolventes de Población, en función de la SINR[dB], para los distintos valores de n .

Según se observa en los histogramas de $n=2$ y $n=3$, la rampa por la izquierda no desaparece. Sin embargo, en este caso, queda reducida a una sola barra frente al caso anterior, en que constaba de dos.

Al constar dicha pendiente de una única barra, cabe plantear la duda, en este caso, de si la rampa pudiera deberse a que la función de Matlab empleada para la obtención de los histogramas ('hist') no centrara adecuadamente las muestras, conforme a la granularidad del ancho de barra empleado en los mismos en la simulación actual: 40 barras.

Para descartar esta posibilidad, se va a repetir la simulación empleando una mayor resolución en los histogramas: 60 barras.

Dado el elevado número de móviles empleado en las simulaciones (en términos generales, suficiente para obviar cualquier efecto debido a la aleatoriedad inherente a cada simulación)²³, este incremento de las barras en un 50% o, lo que es lo mismo, de una barra por cada dos, se va a traducir necesariamente en un incremento de la definición del histograma, en contraposición a aquellos casos en que, no siendo la población del histograma lo suficientemente amplia, pudiera implicar una pérdida de la definición, como consecuencia la aleatoriedad del suceso.

²³ Cuando la población empleada en la simulación es extraordinariamente grande, como es el caso, las curvas de CDF resultan idénticas en cualquier repetición del experimento.

Hechas las consideraciones anteriores, se muestran, a continuación, los histogramas de SINR en la célula *EB0*, para $n=2$ (izquierda) y $n=3$ (derecha):

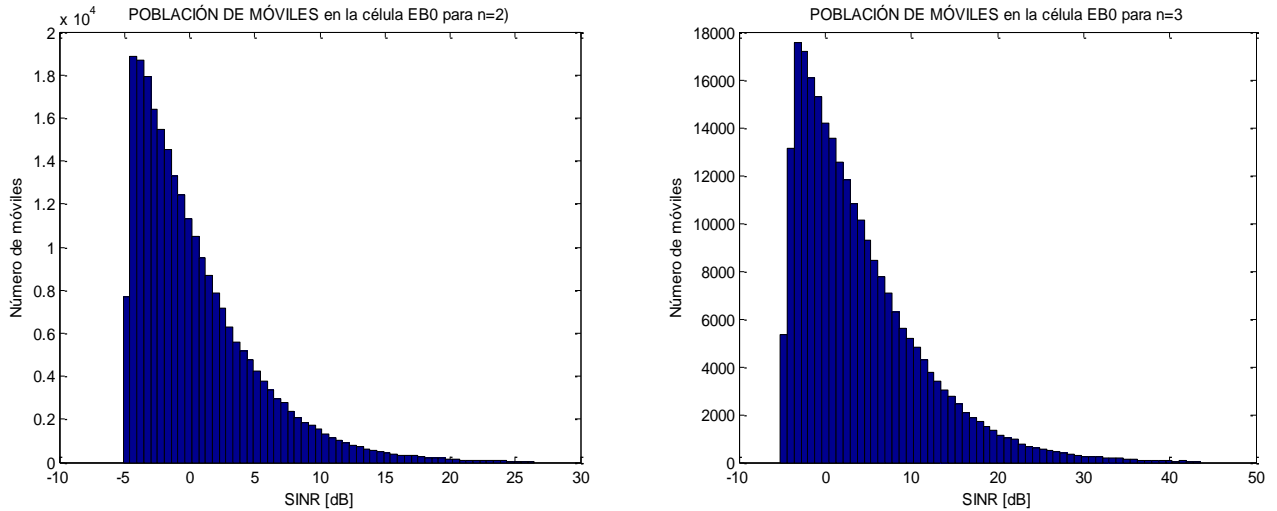


Figura 105: Ídem que la Figura 102, empleando mayor resolución en los histogramas.

Según puede observarse, el histograma de la izquierda sigue mostrando la existencia de una barra asociada a los valores más bajos de SINR, que provoca la aparición de una rampa de pendiente opuesta. Esta barra, siendo más estrecha que en la simulación anterior, además de corroborar que la rampa existe, revela que, para ese caso particular ($n=2$), es más abrupta de lo observado inicialmente.

En el histograma de la derecha, como consecuencia de la mayor definición, se observa que aparece una segunda barra en la rampa de la izquierda que, en este caso ($n=3$), se traduce en un leve suavizado de la pendiente. El hecho de que aparezca una barra más descarta cualquier posibilidad de que la pendiente observada pueda estar asociada a factores de granularidad en la implementación gráfica del histograma.

Nótese lo curioso que resulta el efecto de la rampa por la izquierda en el histograma, en un escenario en el que la región de cobertura de la célula *EB0* es circular y la población de móviles, en la misma, uniformemente distribuida.

La comparativa de las envolventes de población normalizadas de los histogramas, con una y otra resolución, permite evidenciar con mayor claridad las leves diferencias señaladas.

Para ello, en las gráficas siguientes se muestran las envolventes normalizadas de los histogramas de la Figura 105:

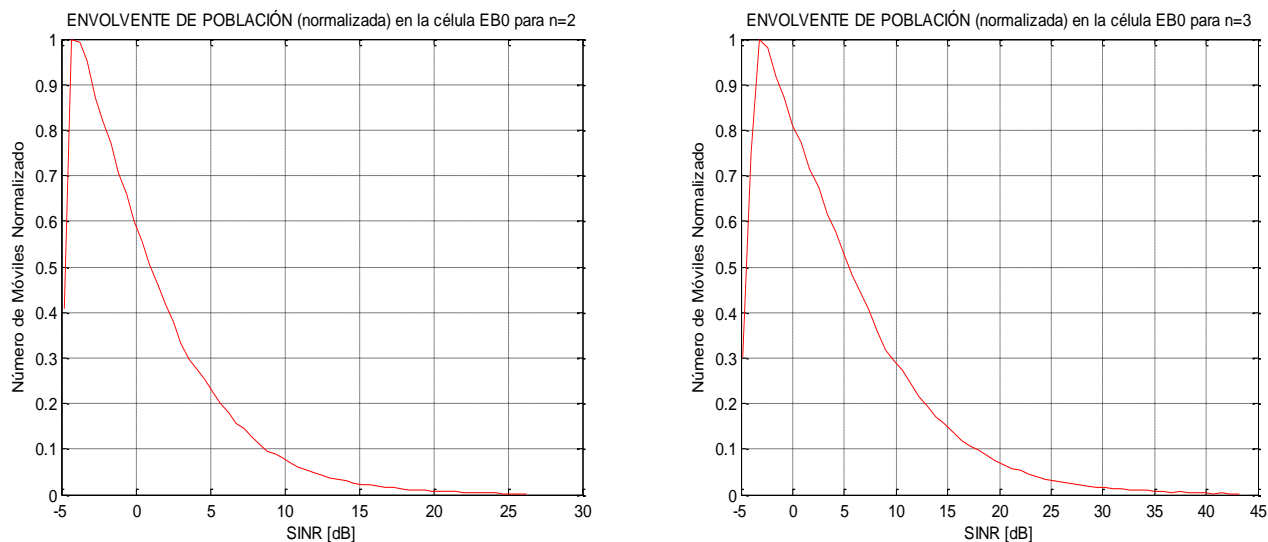


Figura 106: Ídem que la Figura 103, habiendo empleado mayor resolución en los histogramas.

Se muestra, a continuación, la comparativa conjunta de envoltantes resultantes para los distintos valores de n , con el incremento de definición:

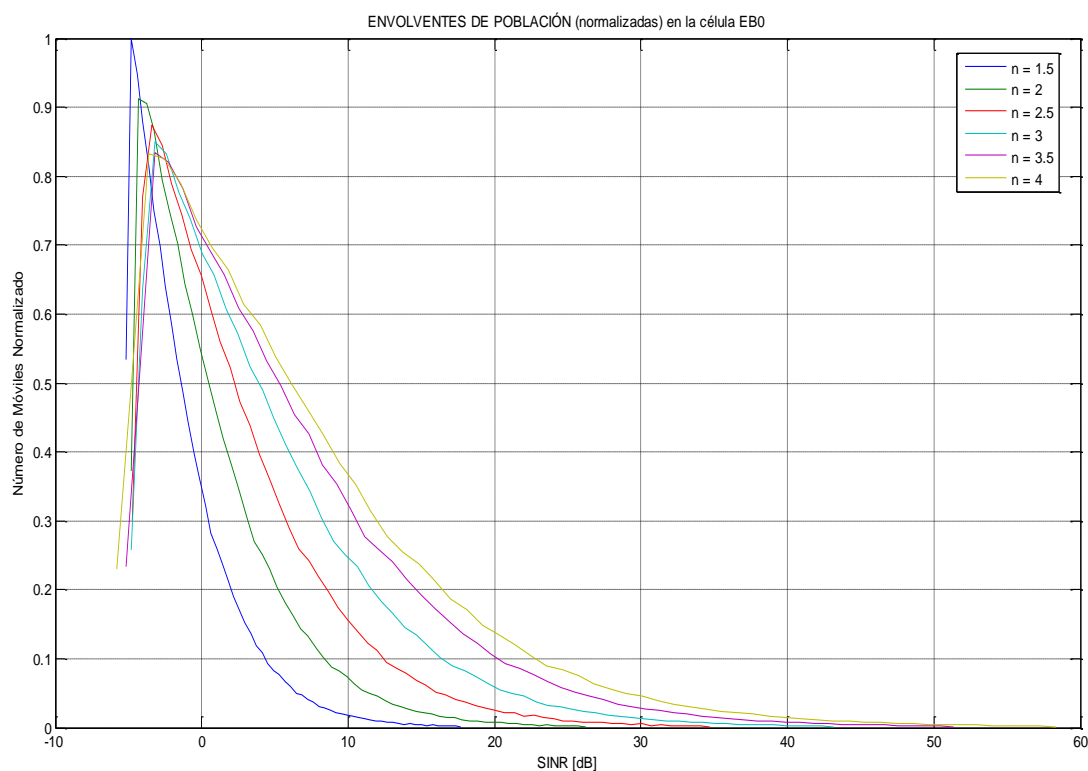


Figura 107: Ídem que la Figura 104, habiendo empleado mayor resolución en los histogramas.

La evaluación conjunta de los dos casos analizados permite concluir que, independientemente del modelo de región de cobertura empleado, **la interferencia de células cercanas produce una**

rampa de pendiente inversa en el rango de valores de SINR más bajo de los histogramas, correspondiente a los puntos más alejados de la región de cobertura (según se desprende de la evolución de las curvas de SINR en función de la distancia, previamente analizada en distintos radiales de la célula).

Dicho en otras palabras, la interferencia de células cercanas en las proximidades del borde de la región de cobertura ocasiona la aparición de una rampa de pendiente inversa en los histogramas de SINR.

Por otra parte, más allá de la conclusión anterior, el hecho de que en el primer caso considerado de región de cobertura de la *EB0* (hexagonal regular) la rampa por la izquierda sea más suave y prolongada que en el segundo (forma circular), sugiere que la forma de la región de cobertura sea también un factor independiente responsable de la aparición dicha rampa.

2.5.3. SNR bajo Cobertura Hexagonal Regular

A fin de verificar si, independientemente de la interferencia de células cercanas, la forma de la región de cobertura determina también la aparición de una rampa de pendiente inversa en los histogramas de SINR, asociada a los puntos más alejados de dicha región, se va a realizar un nuevo experimento, en las mismas condiciones, pero en ausencia de interferencia.

Para ello, sobre el núcleo celular aislado que considera cobertura hexagonal regular de la *EB0* (apartado 2.5.1) se va a analizar la SNR, en lugar de la SINR, en la célula *EB0*.

En la figura de la izquierda siguiente se muestra la gráfica de Función de Distribución de Probabilidad Estimada de SNR[dB] en la célula *EB0*, para los distintos valores del coeficiente n . Por su parte, en la figura de la derecha se muestra la grafica de CDF de R [Mbps] asociada, es decir, bajo la presunción de que, realmente, no existiera interferencia alguna en la célula.

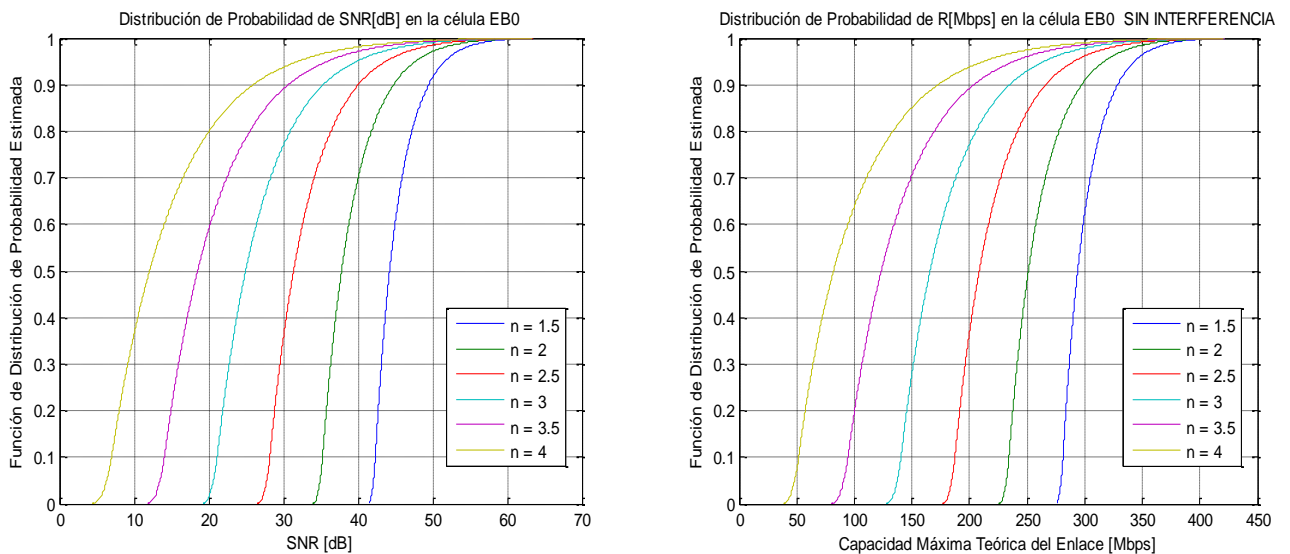


Figura 108: Curvas de CDF($SNR[dB]$) y de CDF($R[Mbps]$) en la célula *EB0*, en ausencia de interferencia.

A continuación, se muestran los histogramas de SNR en la célula *EB0*, para $n=2$ (izquierda) y $n=3$ (derecha):

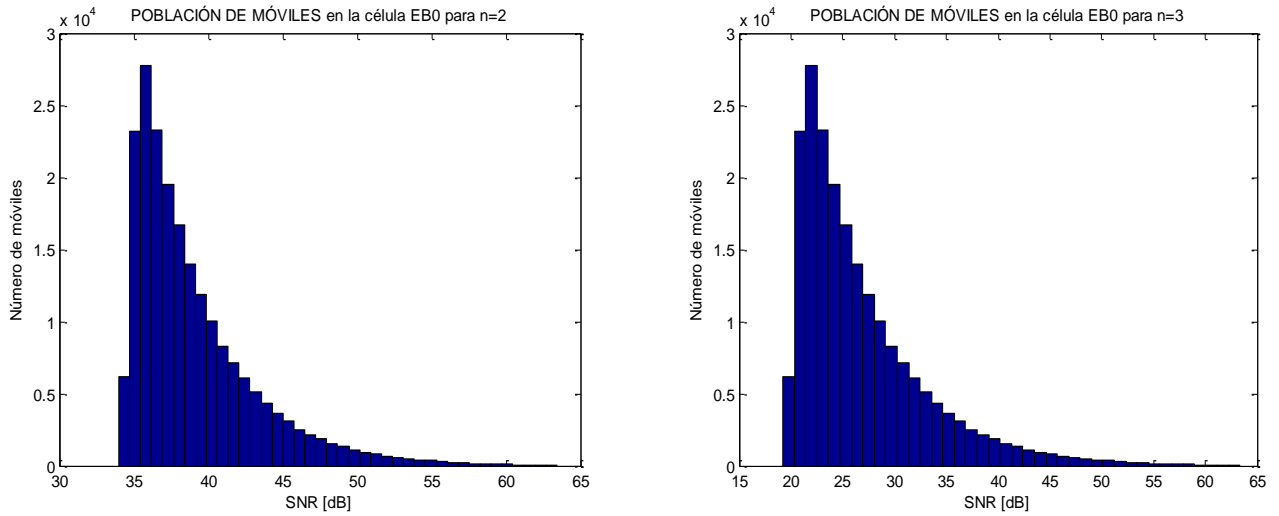


Figura 109: Distribución de Población en la célula *EB0*, en función de la SNR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Nótese que la amplitud del histograma muestra, en todo momento, cómo evoluciona la pendiente de crecimiento de la curva de CDF. Significa esto que la curva de CDF(SNR) crece con mayor pendiente, para el caso de $n=2$, cuando la SNR se encuentra en el rango de [35,36] dB.

En las gráficas siguientes se muestran las envolventes normalizadas de los histogramas anteriores:

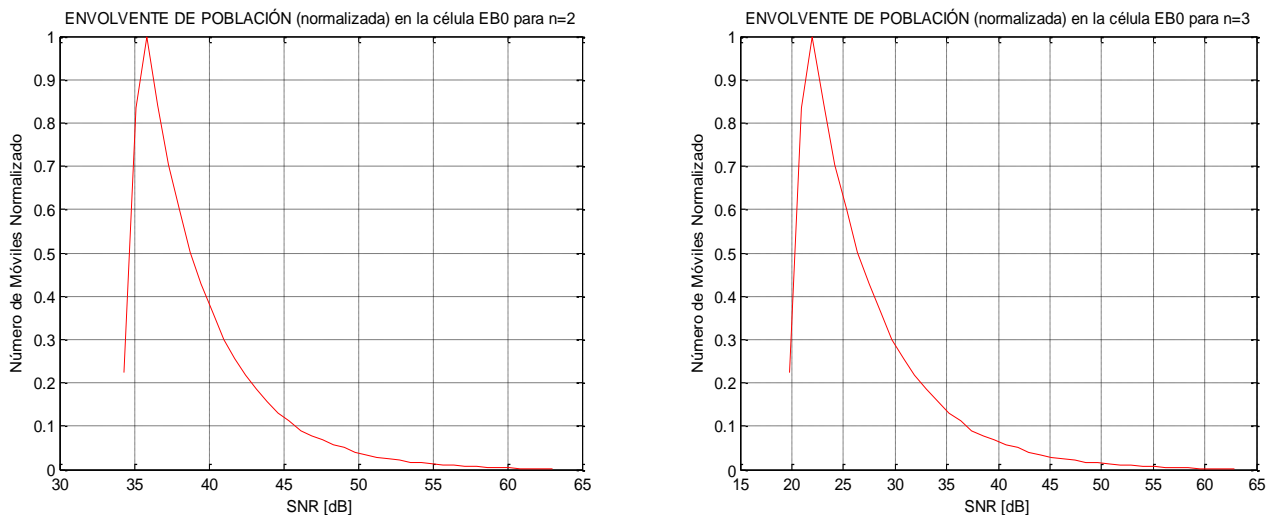


Figura 110: Envolventes de Población en la célula *EB0*, en función de la SNR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Para comparar los histogramas de los distintos valores de n , se representa de forma conjunta las envolventes resultantes:

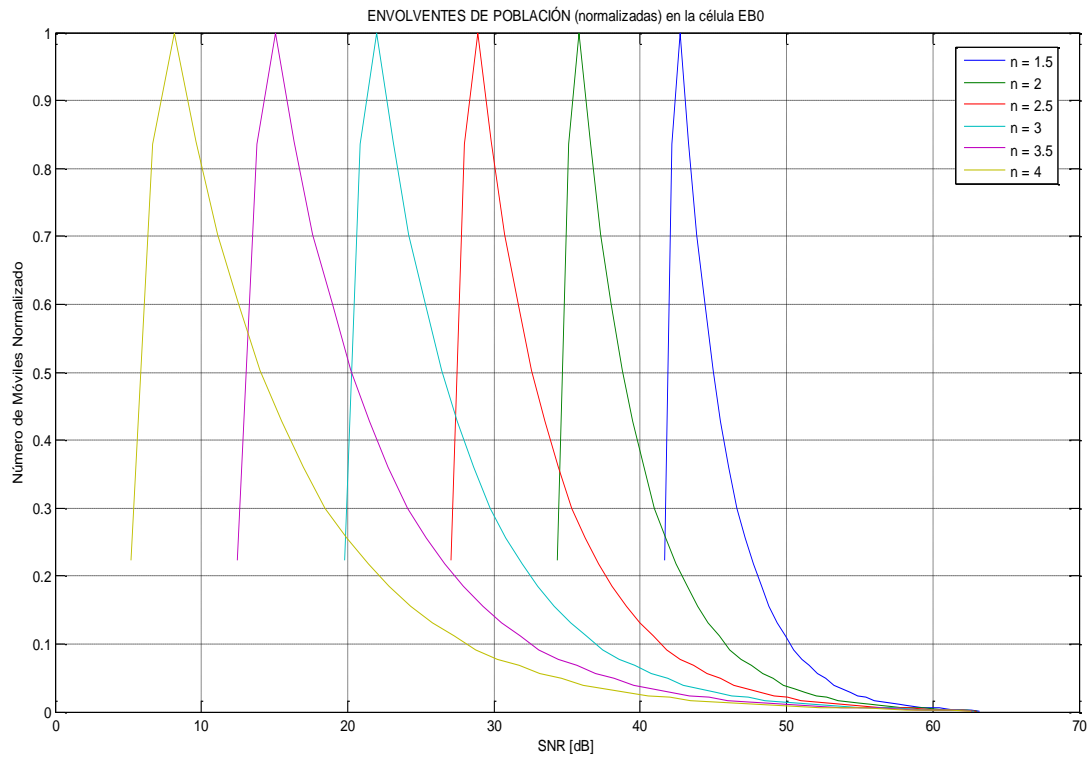


Figura 111: Envolventes de Población, en función de la SNR[dB], para los distintos valores de n .

Según se aprecia en los histogramas, o en las correspondientes envolventes, sigue apareciendo una rampa por la izquierda muy similar a la observada en los histogramas de SINR (mostrados en el apartado 2.5.1), sensiblemente más abrupta.

Dicha rampa no aparecía en los histogramas de SNR obtenidos con región de cobertura circular, según puede apreciarse en las gráficas recogidas en los apartados 2.3.1.2.2 y 2.3.1.2.3.

Por consiguiente, se concluye que **la forma de la región de cobertura puede ser factor de que aparezca una rampa de pendiente inversa en el histograma de SNR** (y, por ende, de SINR), coincidiendo con la zona limítrofe de la región de cobertura, es decir, con los puntos de menor SNR.

De este modo, el hecho de que la región de cobertura sea hexagonal regular, en lugar de perfectamente circular, hace que aparezca dicha rampa en los histogramas de SNR y SINR.

2.6. REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS

Se va a comenzar este apartado retomando, de nuevo, el caso del núcleo celular aislado de siete células circulares solapadas que emplean el mismo radiocanal²⁴, tanto en el enlace descendente, como en el enlace ascendente:

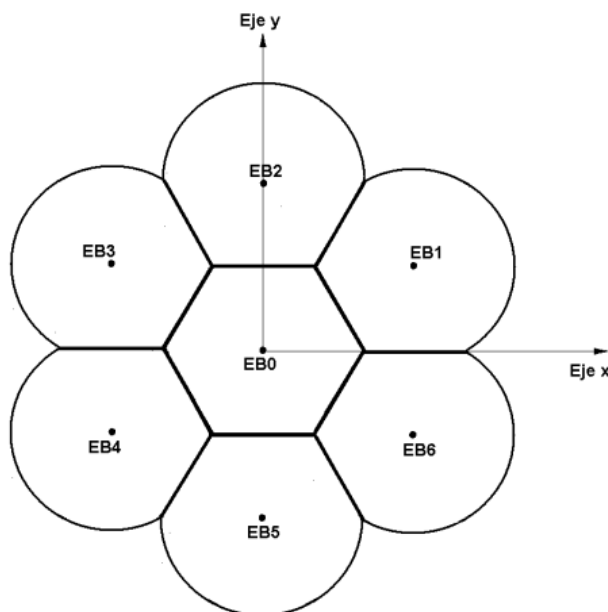


Figura 112: Panel de siete células circulares solapadas que emplean un mismo radiocanal.

En la EB0, más allá de la interferencia de terminales móviles, asociada al enlace ascendente, no se contempla interferencia de las demás Estaciones Base (que estarían empleando el radiocanal descendente), bajo la presunción de que el radiocanal ascendente y descendente de la red se encuentra en otra banda.

Por el mismo motivo, en el terminal móvil bajo estudio, más allá de la interferencia de las EB periféricas, asociada al enlace descendente, no se contempla la interferencia de otros terminales móviles próximos (que estarían empleando el radiocanal ascendente).

En todo caso, a la consideración anterior podrían añadirse otras que la refuerzan. En el caso de las Estaciones Base, la presunción de que las antenas que dan cobertura de red se encontrarán en una posición elevada, orientadas iluminando la superficie de la célula, sin perjuicio de que haya otras específicas para comunicación entre Estaciones Base de la red. Por su parte, en la hipótesis de interferencia entre terminales móviles, se podría atender a consideraciones estadísticas de

²⁴ Se está presuponiendo la asignación o acceso de un único usuario, por célula, al radiocanal de trabajo, sin perjuicio de que la red celular considerada disponga de otros tantos radiocanales. En el caso de que se contemplase un esquema de acceso múltiple TDMA, a efectos de interferencia, se estaría considerando no sólo el empleo del mismo radiocanal de trabajo, sino además, el empleo del mismo slot de tiempo.

acceso simultáneo a la red de otro usuario próximo, o de nivel de potencia recibida en el terminal propio, procedente de otro terminal relativamente alejado, frente al recibido de la Estación Base.

En el escenario presentado resulta ser:

$$d1 \in [d_0, r]$$

$$d2_{min} = r \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} r \simeq 0.866 r$$

$$d3_{min} = d2_{min} < d1_{max} = r$$

A la vista de la última expresión, se desprende que:

- I) En el enlace descendente, si un terminal propio se sitúa a distancia $d2_{min}$ de la $EB0$, en el segmento que une la misma con cualquiera de las otras EB periféricas, recibirá la misma intensidad de señal de la $EB0$ que de la EB interferente situada al otro extremo de dicho segmento, aparte de la señal procedente de las otras EB interferentes, que quedarán más alejadas.

Visto de otro modo, si un terminal propio se sitúa a distancia r de la $EB0$, en el vértice que une tres células, recibirá la misma intensidad de señal de las tres EB correspondientes, lo que implicaría una potencia interferente doble que la de señal, propiamente dicha, sin contar la intensidad de señal procedente de las otras cuatro EB periféricas.

- II) En el enlace ascendente, la situación podría ser incluso peor. Téngase en cuenta que la señal interferente de un único terminal móvil, que se encuentre situado a distancia $d3_{min}$ de la $EB0$, puede resultar mayor que la señal de un terminal propio, en función de la localización de éste dentro de la célula. A esta consideración hay que añadir que habría otras cinco células cuyos terminales pueden interferir también en la $EB0$, además de la que proporciona cobertura al móvil interferente anterior.

Estas consideraciones ponen de manifiesto la necesidad de recurrir a otros esquemas que ofrezcan mayor protección frente a la interferencia intercelular.

2.6.1. Reutilización Celular

Uno de esos esquemas consistiría en el empleo de un radiocanal²⁵ distinto en cada célula de un conjunto unido de ellas y la reutilización esos mismos radiocanales en otras células más alejadas de la red, de tal forma que se pueda escalar el modelo con unos recursos de ancho de banda de red limitados.

De este modo, considérese el siguiente núcleo celular, donde cada color representa el empleo de un radiocanal distinto:

²⁵ En adelante, sobreentiéndase, al hablar de radiocanal, que se trata de un par ascendente/descendente.

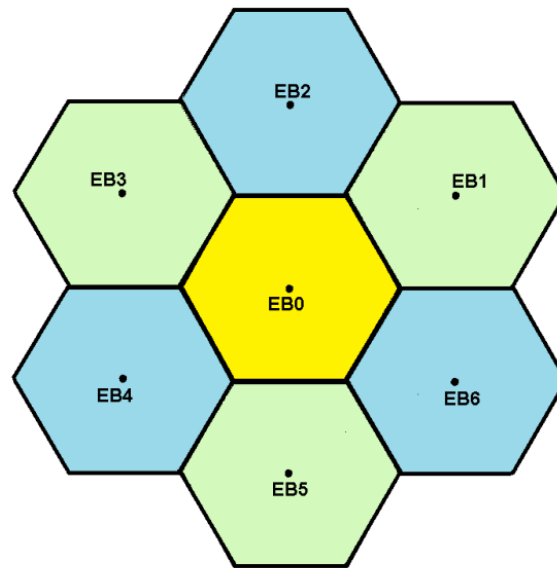


Figura 113: Panel de siete células que emplea tres radiocanales.

En este caso, en la célula central no se produciría interferencia con las células periféricas, dado que estarían trabajando en distinta banda de frecuencia.

El inconveniente de este modelo, tal cual, es que no resulta escalable de un modo que se garantice que no haya células contiguas que empleen el mismo radiocanal.

Sin embargo, si se considera la siguiente unidad celular, entonces sí:

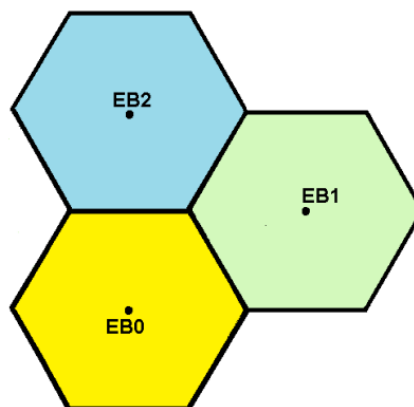


Figura 114: Núcleo de tres células que emplea un radiocanal distinto en cada una.

2.6.1.1. Reutilización Celular Tribanda

Escalando la unidad celular anterior, resulta el siguiente escenario, que constituye un ejemplo de reutilización celular de frecuencias basado en el empleo de tres radiocanales:

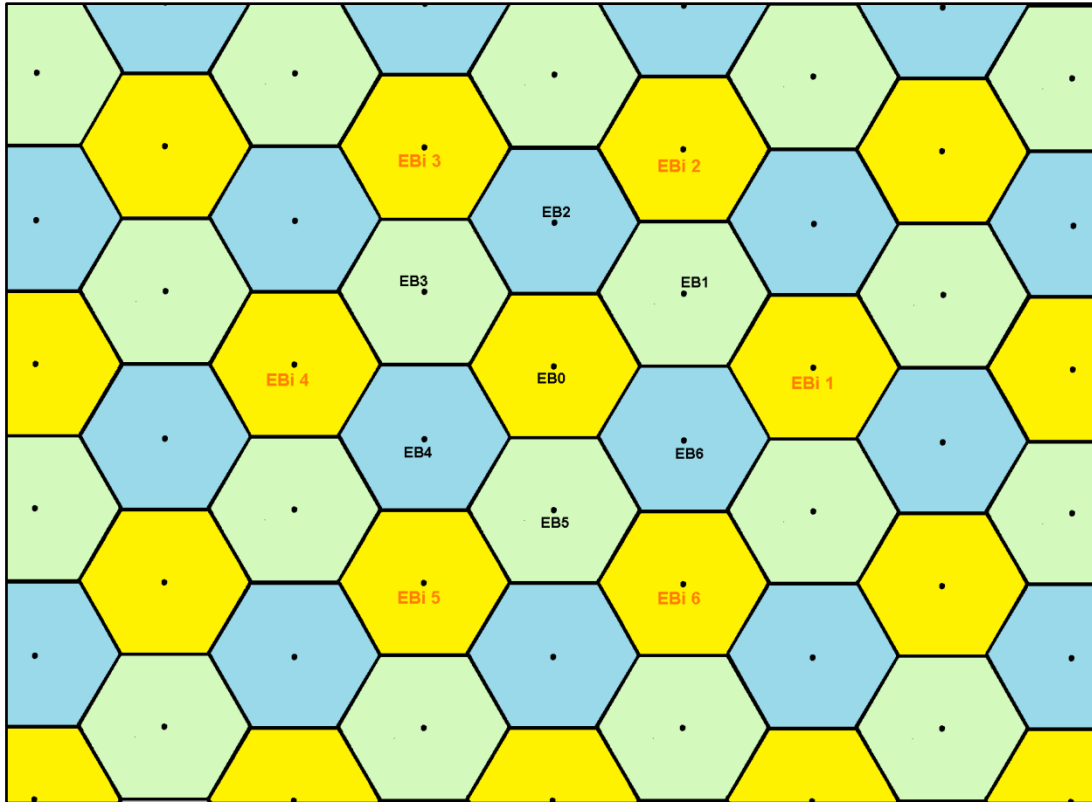


Figura 115: Reutilización Celular de tres frecuencias (radiocanales).

Se observa que en este escenario no existe interferencia entre células colindantes, resultando ser:

$$d_{2min} = d_{3min} = 2r > d_{1max} = r$$

La expresión anterior pone de manifiesto la mejora sustancial, en términos de interferencia, que supone este escenario respecto del anterior escalado (que emplea un único radiocanal).

A continuación, se va a estudiar el efecto de la interferencia, en el enlace descendente, sobre la región de cobertura de la célula $EB0$.

Para ello, se considerarán las células más cercanas a la misma que emplean el mismo radiocanal. De este modo, en el estudio se han considerado las seis células interferentes ($EBi1$, $EBi2$, $EBi3$, $EBi4$, $EBi5$ y $EBi6$) cuya estación base se encuentra situada a distancia $d = 3r$ de la $EB0$.

Por su parte, se obviará por completo la aportación de las restantes Estaciones Base Interferentes, al situarse a distancias de la $EB0$ mayores o iguales a $d = 3\sqrt{3}r$, que, si bien supone un incremento algo inferior al doble respecto de la distancia anterior (2.39 dB), conlleva un incremento algo superior al doble en la d_{2min} referida a dichas EB, con respecto a la tomada desde las seis anteriores (3.35 dB).

Las coordenadas de las Estaciones Base consideradas resultan ser:

$$EB0: (0,0)$$

$$EBi1: (3r, 0)$$

$$EBi2: \left(\frac{3}{2}r, 3\frac{\sqrt{3}}{2}r\right)$$

$$EBi3: \left(-\frac{3}{2}r, 3\frac{\sqrt{3}}{2}r\right)$$

$$EBi4: (-3r, 0)$$

$$EBi5: \left(-\frac{3}{2}r, -3\frac{\sqrt{3}}{2}r\right)$$

$$EBi6: \left(\frac{3}{2}r, -3\frac{\sqrt{3}}{2}r\right)$$

A continuación se muestran los cortes, según los ejes X (izquierda) e Y (derecha), de la gráfica 3-D de la SINR en la región de cobertura de la $EB0$, para $r = 3$ Km y diferentes valores de n :

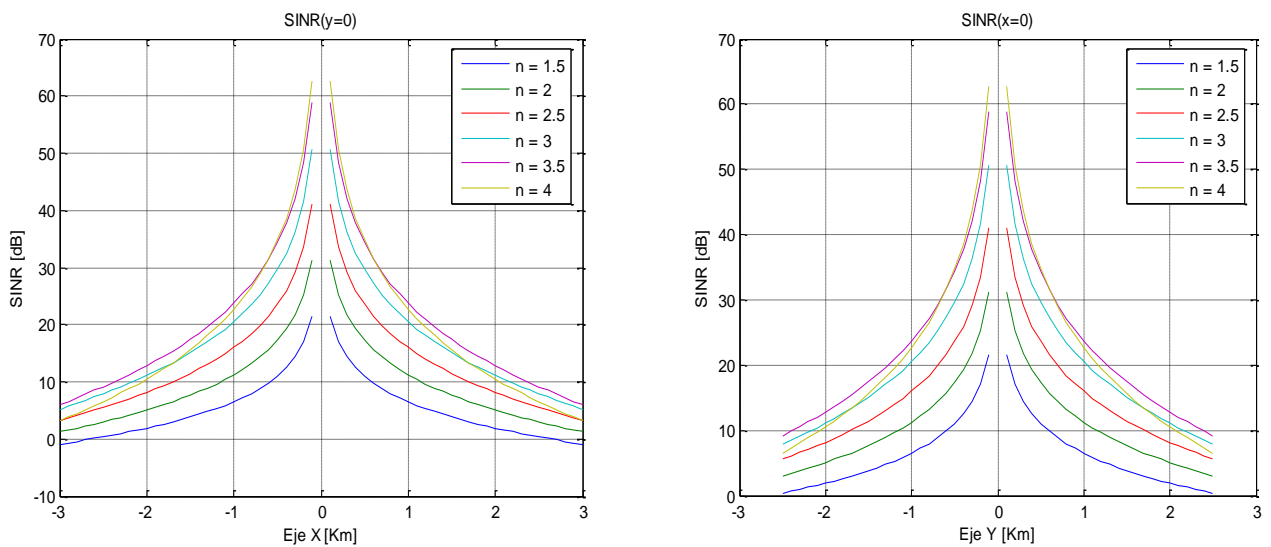


Figura 116: Cortes de la gráfica 3-D de la SINR, según los ejes X e Y, para diferentes valores de n .

En las siguientes gráficas se muestran las curvas anteriores de SINR normalizadas, correspondientes a los ejes X (izquierda) e Y (derecha):

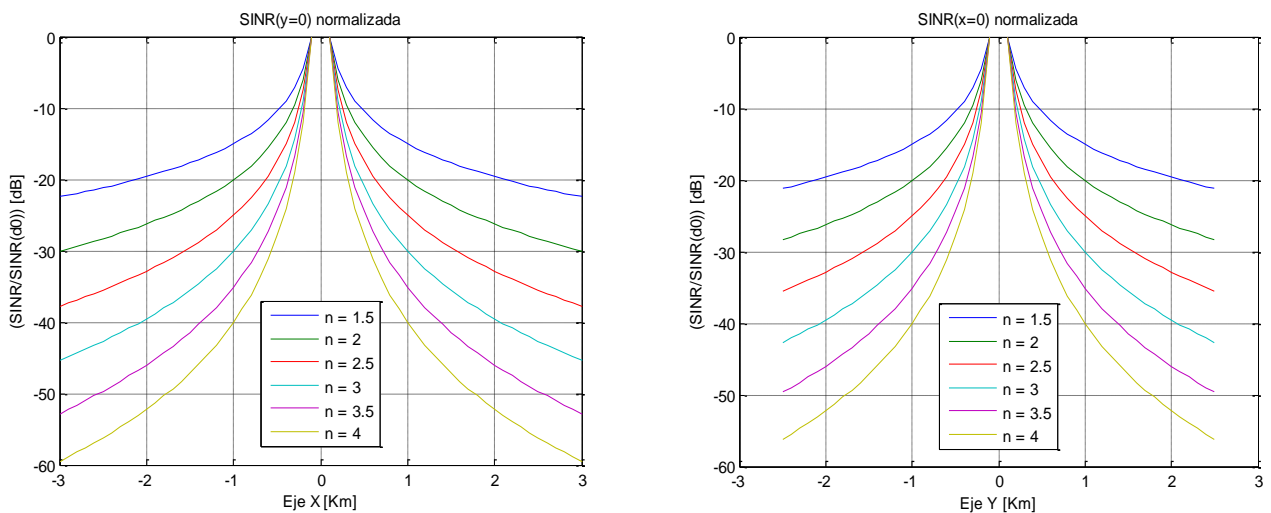


Figura 117: Cortes de SINR normalizada, según los ejes X e Y, para diferentes valores de n .

En las simulaciones siguientes se va a considerar una población uniformemente distribuida de terminales móviles²⁶ en la región de cobertura de la *EB0*.

Resultan las siguientes gráficas de Función de Distribución de Probabilidad Estimada de SINR[dB] (izquierda) y de R[Mbps] (derecha) en la célula *EB0*, para los distintos valores del coeficiente n :

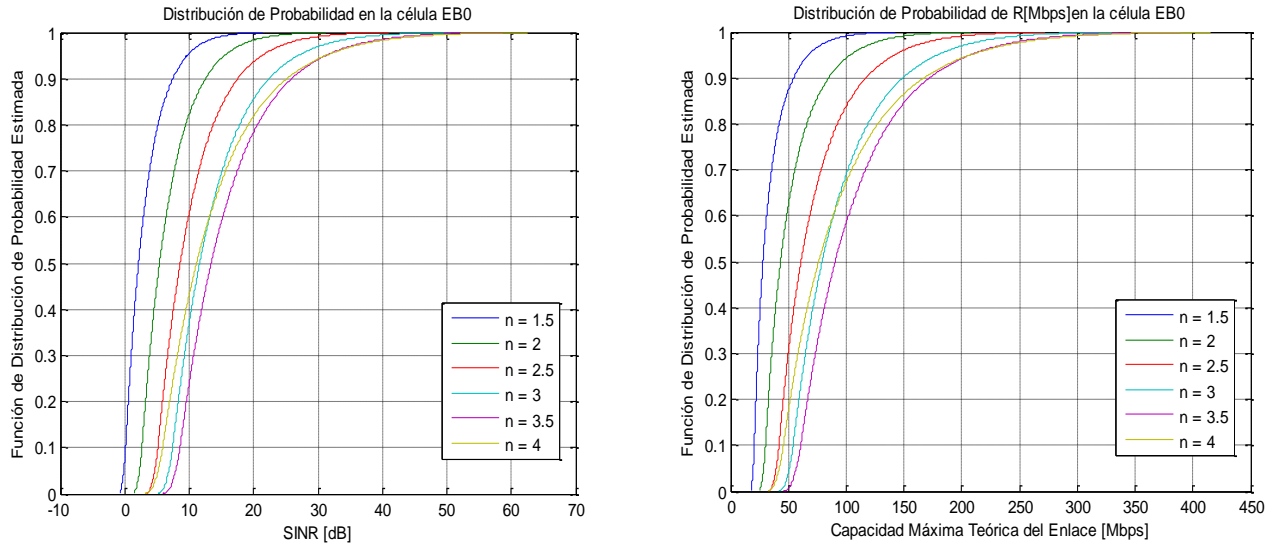


Figura 118: Curvas de CDF(SINR[dB]) y de CDF(R[Mbps]) en la célula *EB0*.

A continuación, se muestran los histogramas de SINR en la célula *EB0*, para $n=2$ (izquierda) y $n=3$ (derecha):

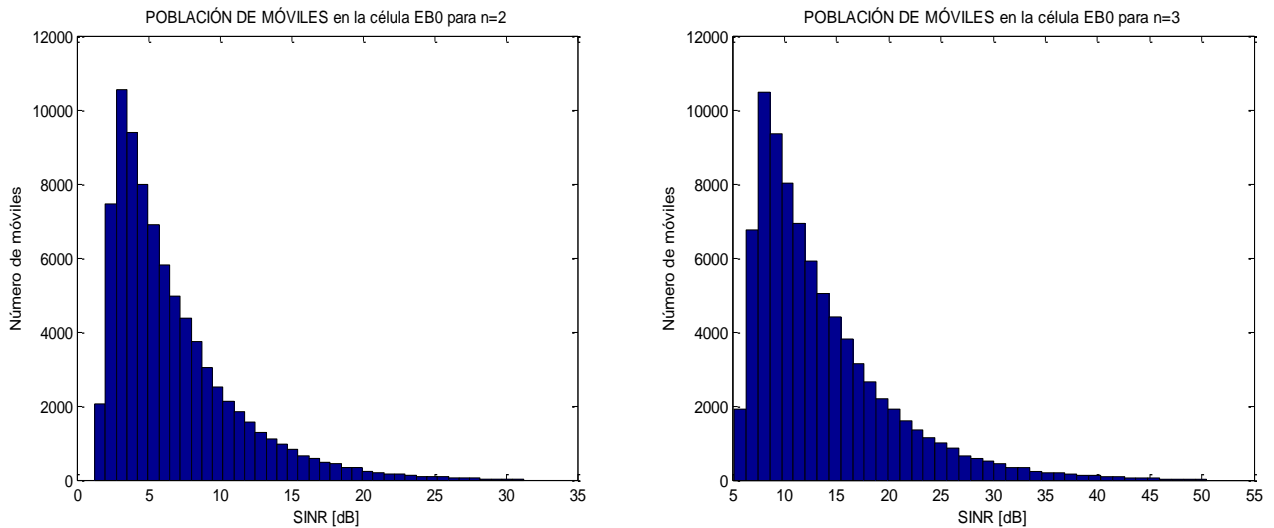


Figura 119: Distribución de Población en la célula *EB0*, en función de la SINR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

²⁶ Lo suficientemente grande como para obviar cualquier efecto inherente a la aleatoriedad de cada realización particular del experimento (100.000 elementos dentro de la circunferencia determinada por el radio de cobertura).

En las gráficas siguientes se muestran las envolventes normalizadas de los histogramas anteriores:

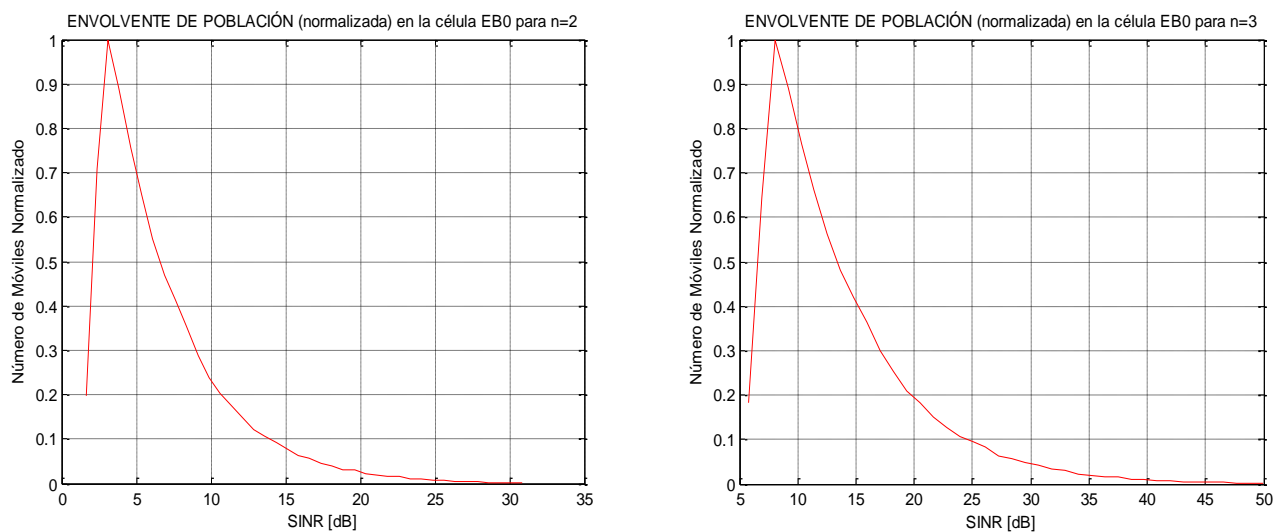


Figura 120: Envolventes de Población en la célula *EB0*, en función de la SINR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Para comparar la forma de los histogramas de los distintos valores de n , se representa de forma conjunta las envolventes resultantes:

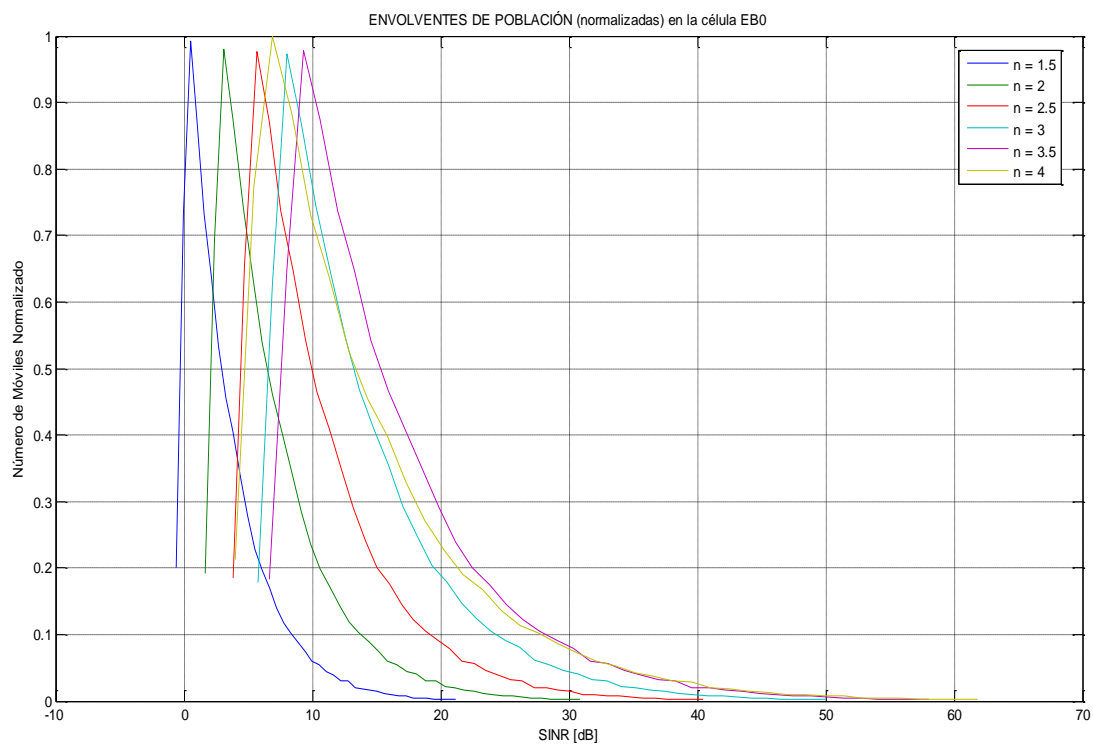


Figura 121: Envolventes de Población, en función de la SINR[dB], para los distintos valores de n .

El estudio anterior ha puesto de manifiesto una mejora sustancial de la SINR en la región de cobertura de la *EB0*, con respecto al escenario en el que todas las células empleaban el mismo radiocanal. Dicho escenario fue analizado en detalle en los apartados 2.4.2.3 y 2.5.1, si bien, computando únicamente la contribución de las células periféricas, distantes tan sólo $d=\sqrt{3} r$ de la *EB0* (lo que reforzaría la conclusión anterior).

A fin de disponer de una comparativa ecuánime en términos de SINR, el estudio se ha realizado en ambos casos empleando un mismo ancho de banda de radiocanal (20 MHz), en lo referente al cómputo de potencia de ruido en el terminal móvil bajo estudio, permitiendo observar con ello, además, la mejora en cuanto a límite del régimen binario que conlleva. Sin embargo, hay que decir que todo ello es logrado a costa de requerir un **ancho de banda de red** triple, frente al escenario que no emplea reutilización de frecuencias. Estas consideraciones serán tenidas en cuenta a la hora de efectuar la comparativa de escenarios planteada más adelante.

Por último, hay que señalar que una limitación importante del escenario anterior reside en el acceso simultáneo de usuarios a la red en cada célula. De este modo, más allá de la reutilización celular de frecuencias, hay otros esquemas que mejoran el aspecto anterior, a la vez que persiguen protección frente a la interferencia intercelular.

2.6.2. Reutilización Sectorial

Uno de esos esquemas, denominado *reutilización sectorial de frecuencias*, se basaría en el empleo de un radiocanal distinto en cada sector de una célula y la reutilización esos mismos radiocanales en otros sectores celulares más alejados de la red, de tal forma que se pueda escalar el modelo con unos recursos de ancho de banda de red limitados.

Estos esquemas permiten, además, incrementar la ganancia del diagrama de radiación de la Estación Base, con respecto a una antena (o agrupación) omnidireccional en azimut, mejorando la cobertura en los extremos de la célula o, en su caso, permitiendo la disminución de la potencia radiada.

Esta mayor versatilidad se plasma también en el hecho de disponer de antenas específicas para la cobertura de los diferentes sectores de la célula, posibilitando la orientación independiente de cada una de ellas, tanto en azimut, como en orientación, de modo que se adecuen a las circunstancias de orografía o distribución de población de las inmediaciones, para lograr las mejores prestaciones.

2.6.2.1. Reutilización de Frecuencias Intracelular

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de reutilización sectorial de dos frecuencias, donde cada color representa el empleo de un radiocanal distinto:

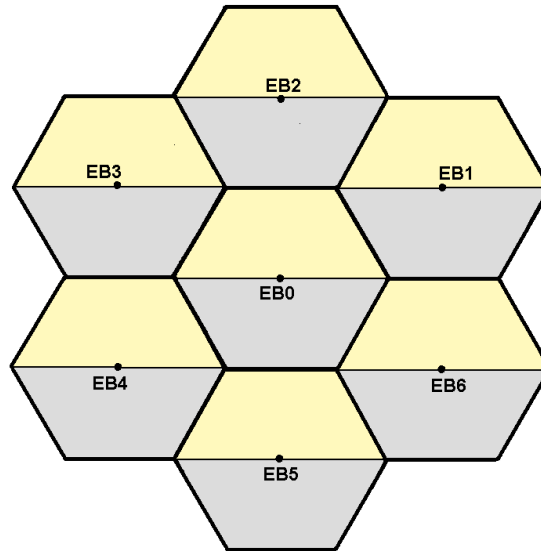


Figura 122: Reutilización Sectorial de 180° con dos frecuencias.

En este escenario se verifica que:

$$d2_{min} = d3_{min} = r = d1_{max}$$

Por otra parte, atendiendo a la orientación de los sectores de cobertura, puede comprobarse que sólo existe interferencia de tres células periféricas en cada sector de la *EB0*, si bien, distintas según se trate del enlace ascendente o descendente.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de reutilización sectorial de tres frecuencias, donde cada color representa el empleo de un radiocanal distinto:

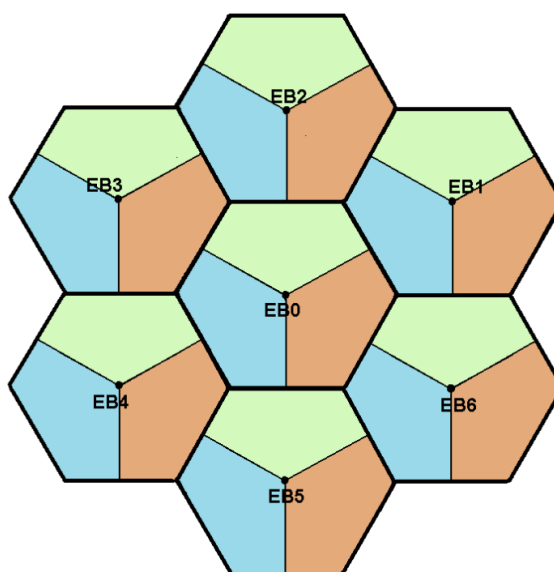


Figura 122: Reutilización Sectorial de 120° con tres frecuencias.

En este escenario se verifica que:

$$d2_{min} = d3_{min} = 3/2 r$$

Al igual que ocurría en el escenario previo, atendiendo a la orientación de los sectores de cobertura, se comprueba que sólo existe interferencia de tres EB periféricas en cada sector de la *EB0* (si bien, distintas según se trate del enlace ascendente o descendente).

A partir de las consideraciones anteriores cabe esperar que este escenario proporcione mayor protección frente a la interferencia celular que el caso de reutilización sectorial de dos frecuencias. La contrapartida es que va a requerir de un mayor ancho de banda de red que el anterior, considerando el empleo de radiocanales del mismo ancho de banda en uno y otro caso.

Sin perjuicio de lo anterior, no conviene perder de vista que este escenario empeora sensiblemente la $d2_{min}$ y $d3_{min}$ logradas con reutilización celular de tres frecuencias.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de reutilización sectorial de seis frecuencias, donde cada color representa el empleo de un radiocanal distinto:

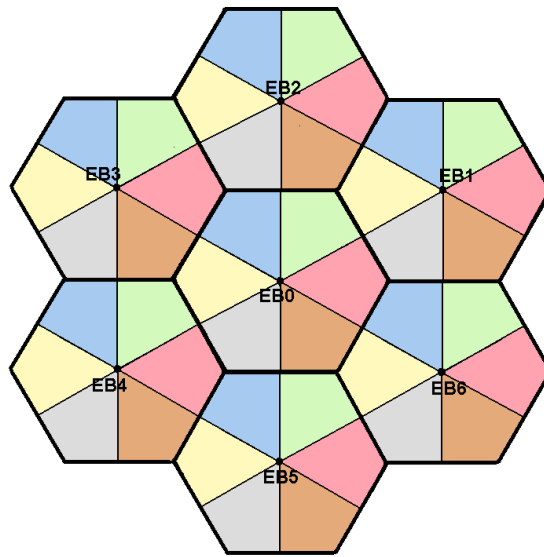


Figura 123: Reutilización Sectorial de 60° con seis frecuencias.

En este escenario se verifica que:

$$d2_{min} = d3_{min} = \sqrt{3} \cdot r > 3/2 r$$

En este caso, atendiendo a la orientación de los sectores de cobertura, se comprueba que sólo existe interferencia de dos células periféricas en cada sector de la *EB0*, si bien, distintas según se trate del enlace ascendente o descendente.

A partir de las consideraciones anteriores cabe esperar que este escenario proporcione mayor protección frente a la interferencia celular que el caso de reutilización sectorial de tres

frecuencias. La contrapartida es que va a requerir del doble de ancho de banda de red, considerando el empleo de radiocanales del mismo ancho de banda en uno y otro caso.

Por último, hay que señalar que cualquiera de los tres casos de reutilización sectorial presentados hasta ahora resulta escalable, como puede apreciarse fácilmente, ya que se circunscriben sólo a la reutilización de frecuencias intracelular y la consiguiente replicación celular para lograr la escalabilidad.

2.6.2.1.1. Reutilización Sectorial Tribanda

En este apartado se va a analizar el efecto de la interferencia, asociada al enlace descendente, en el ejemplo anterior de reutilización sectorial de tres frecuencias.

En las simulaciones realizadas se ha designado el sector verde como *Sector 1*, el azul como *Sector 2* y el granate como *Sector 3*, tomándose como frecuencias centrales de su radiocanal de trabajo 1800 MHz, 2200 MHz y 2600 MHz, respectivamente.

En el enlace descendente, atendiendo a su orientación, el *Sector 1* recibirá interferencia de la *EB4*, *EB5* y *EB6*; el *Sector 2*, de la *EB1*, *EB2* y *EB6*; y el *Sector 3*, de la *EB2*, *EB3* y *EB4*.

Se va a comenzar el análisis mostrando en 3-D el aspecto que presenta la SNR y la SINR en la región de cobertura de la *EB0*. Para ello, en la simulación siguiente se ha tomado un radio de cobertura $r=3$ Km, con un coeficiente de pérdidas de $n=3$:

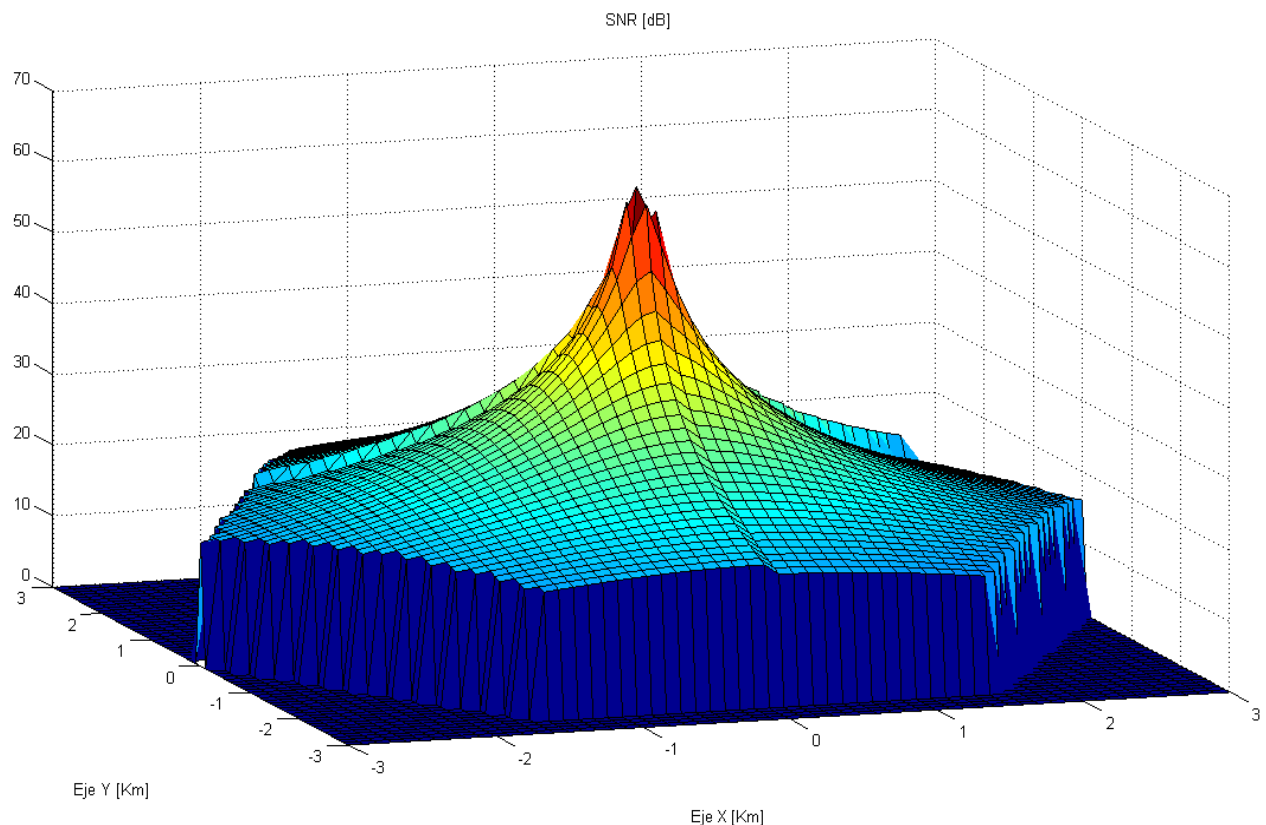


Figura 124: Representación 3-D de la SNR[dB], para $r=3$ Km y $n=3$.

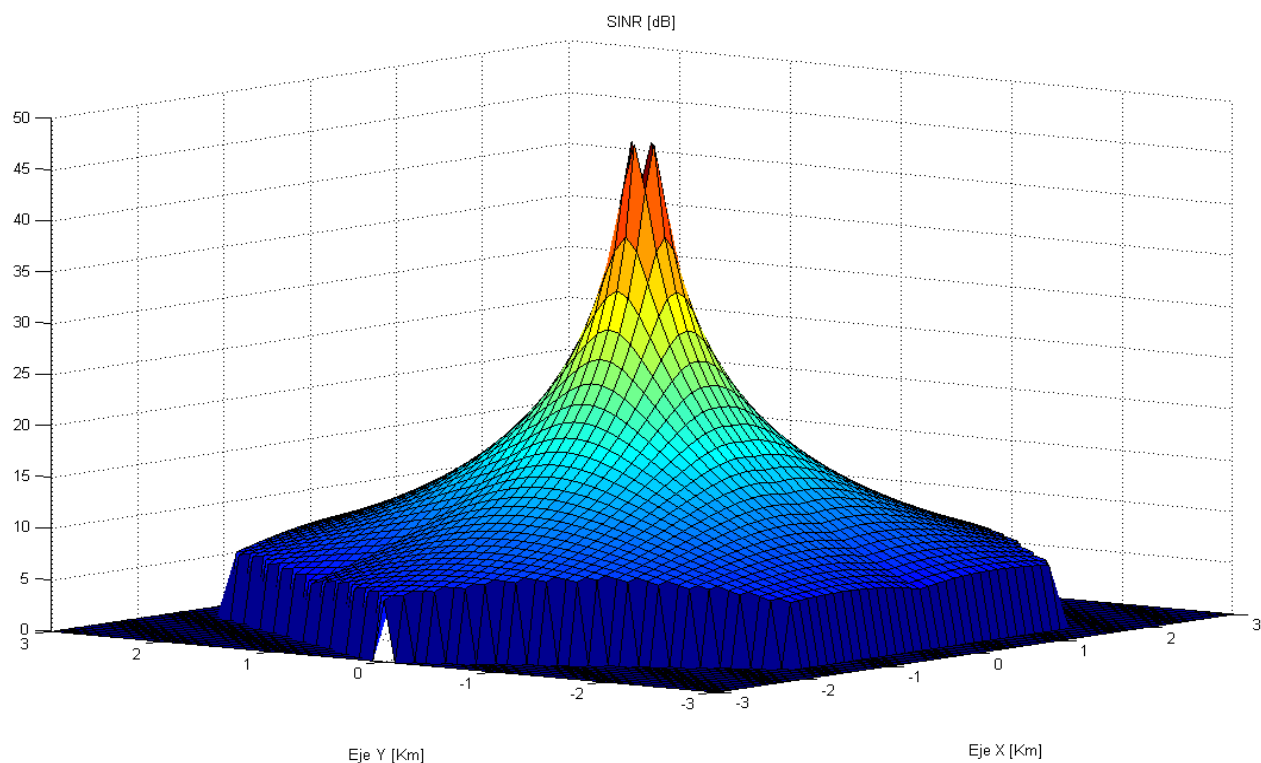


Figura 125: Representación 3-D de la SINR[dB], para $r=3$ Km y $n=3$.

A continuación se van a obtener los cortes, según los Ejes X (izquierda) e Y (derecha), de la gráfica 3-D de la SINR, para diferentes valores de n :

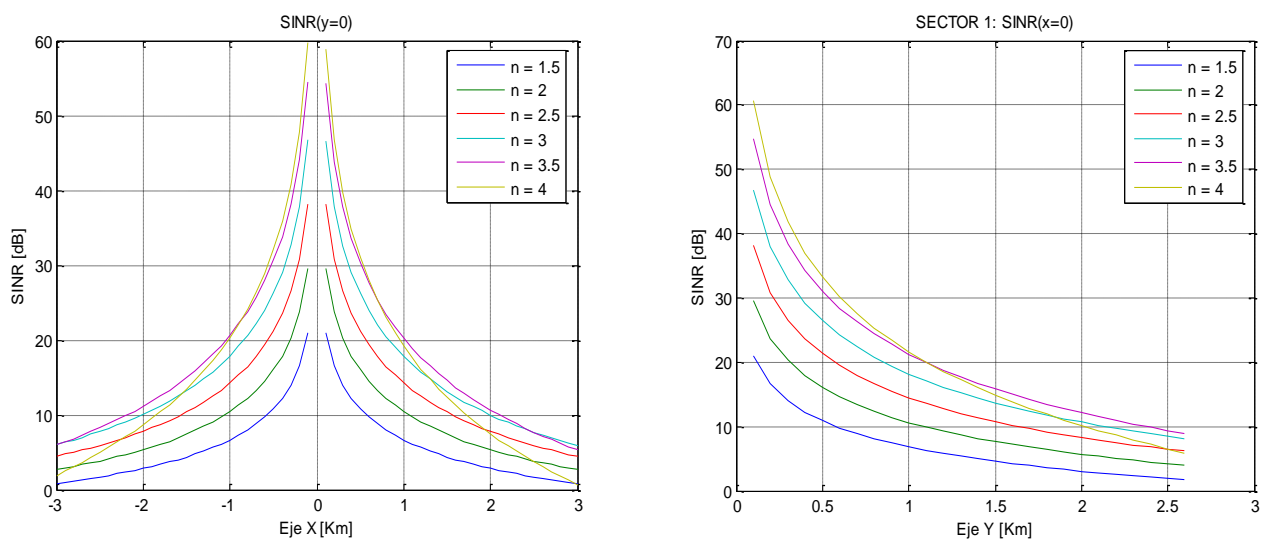


Figura 126: Cortes de la gráfica 3-D de la SINR, según los ejes X e Y, para diferentes valores de n .

Aunque en la gráfica superior izquierda resulta difícil de apreciar, no hay simetría especular respecto del origen en el Eje X, es decir, los valores a izquierda y derecha no son exactamente iguales, dado que dicho eje atraviesa dos sectores diferentes.

En las siguientes gráficas se muestran las curvas anteriores de SINR normalizadas²⁷, observándose que la gráfica del Eje X, de este modo, sí resulta perfectamente simétrica:

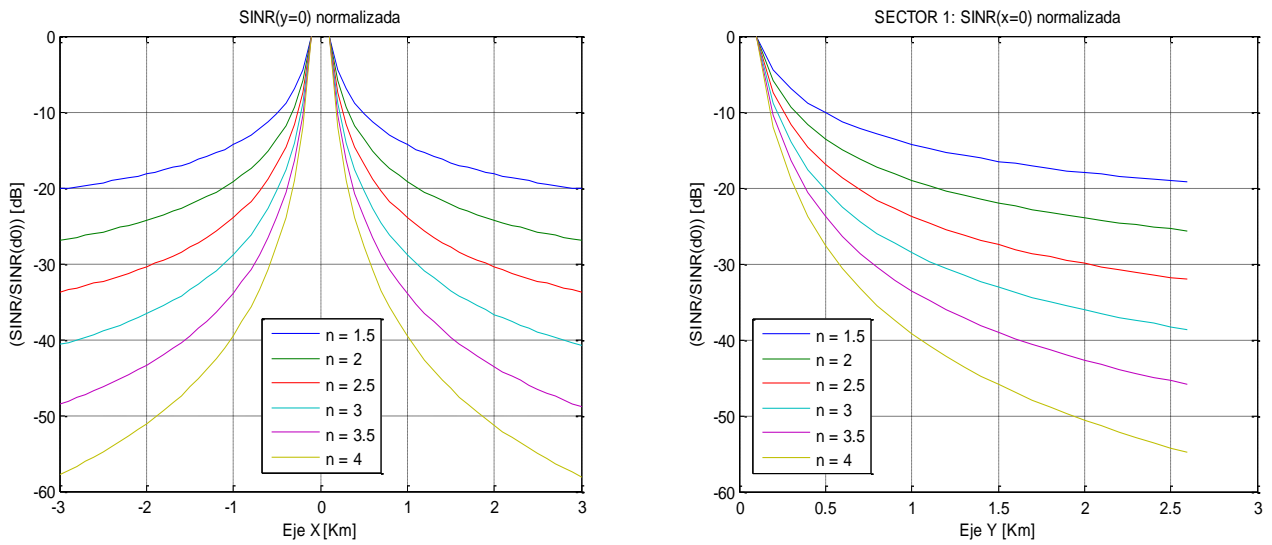


Figura 127: Cortes de SINR normalizada, según los ejes X e Y, para diferentes valores de n .

Nótese que el corte de SINR según el Eje X no atraviesa los *Sectores 2 y 3* por su bisectriz, a diferencia del corte según Eje Y con el *Sector 1*. A fin de disponer de unos cortes de SINR más representativos, en la región de cobertura de la *EB0*, a continuación se muestran los cortes según la bisectriz de dichos sectores:

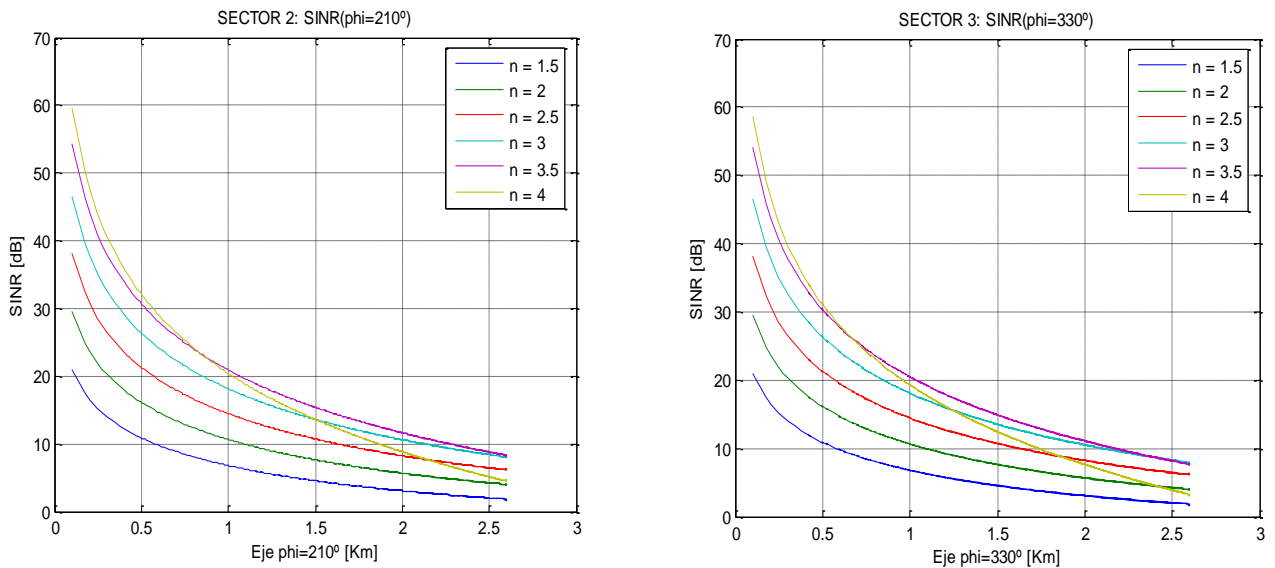


Figura 128: Cortes de la gráfica 3-D de la SINR, según la bisectriz de los *Sectores 2 y 3*, para diferentes n .

²⁷ En el Eje X se normaliza respecto del valor de $\text{SINR}(x=d_0)$ correspondiente a cada semieje, ya que el semieje izquierdo cae en el *Sector 2* y el derecho en el *Sector 3*. Por su parte, en el Eje Y se normaliza respecto de $\text{SINR}(y = d_0)$.

En las siguientes gráficas se muestran las curvas anteriores de SINR normalizadas, respecto de su correspondiente valor máximo:

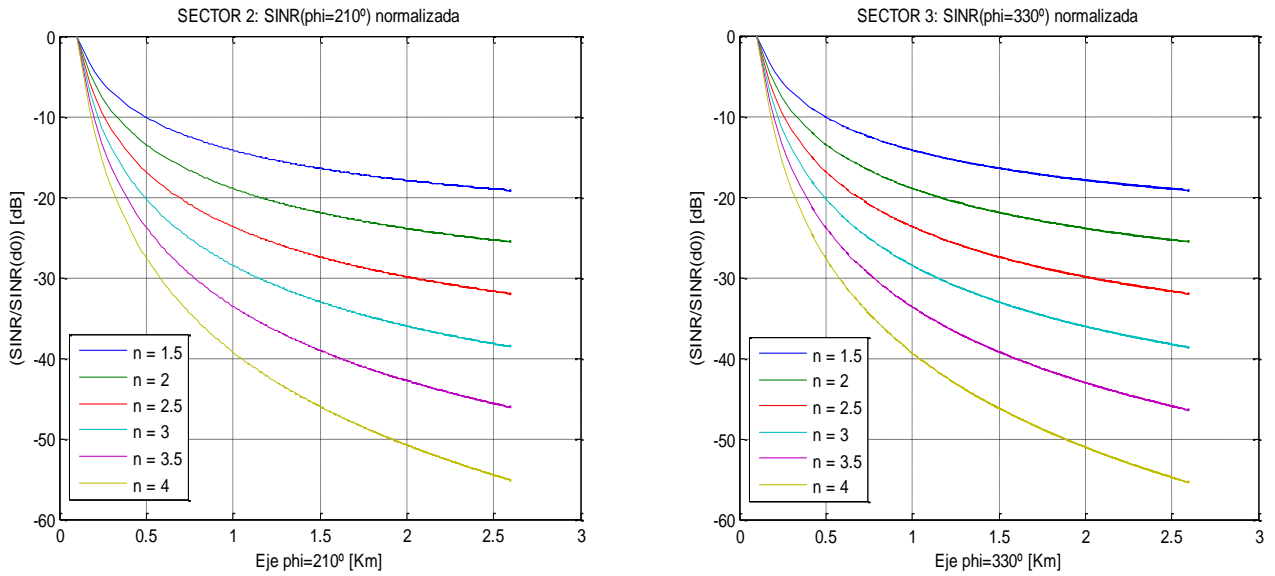


Figura 129: Cortes de SINR normalizada, según la bisectriz de los Sectores 2 y 3, para diferentes valores de n .

Las simulaciones realizadas bajo este escenario (para el análisis de la región de cobertura de la *EB0*) demuestran que, tanto la SINR, como la SNR, alcanzan su mínimo valor en los vértices del hexágono²⁸.

A continuación, se va a considerar que el núcleo celular anterior no se encuentra aislado, sino integrado dentro de una amplia red en panal hexagonal regular.

Dado que el escenario resulta idéntico respecto de cualquiera de los tres sectores de la *EB0*, el análisis siguiente se centrará en un único sector, tomándose el *Sector 1*.

A efectos de interferencia, sólo se considerará la contribución de aquellas Estaciones Base que se encuentren a distancias $d \leq 2\sqrt{3}r$ de la *EB0*. Es decir, sólo se considerarán las células interferentes hasta el segundo anillo, que envuelve el anillo células periféricas (que, a su vez, rodean a la *EB0*). Esta consideración se aplica bajo la presunción de que las células interferentes del tercer anillo se encuentran ya lo suficientemente alejadas para que su contribución pueda considerarse despreciable frente a la contribución de las anteriores.

De este modo, dado que se va a analizar la región de cobertura del *Sector 1* de la *EB0*, habrá que atender la orientación del mismo a fin de determinar los sectores interferentes, al igual que se hizo en el caso anterior con cada uno de los tres sectores de la *EB0*.

²⁸ Para determinarlo, en las simulaciones se ha empleado la misma frecuencia de radiocanal en los tres sectores, si bien, manteniendo el origen de la interferencia en cada uno de ellos (por ejemplo, en el *Sector 1* se recibe potencia interferente de las *EB4*, *EB5* y *EB6*).

En la figura siguiente se muestran sombreados, en el mismo color que dicho sector, aquéllos otros sectores cuya contribución habrá de considerarse en el enlace descendente, conforme al criterio establecido:

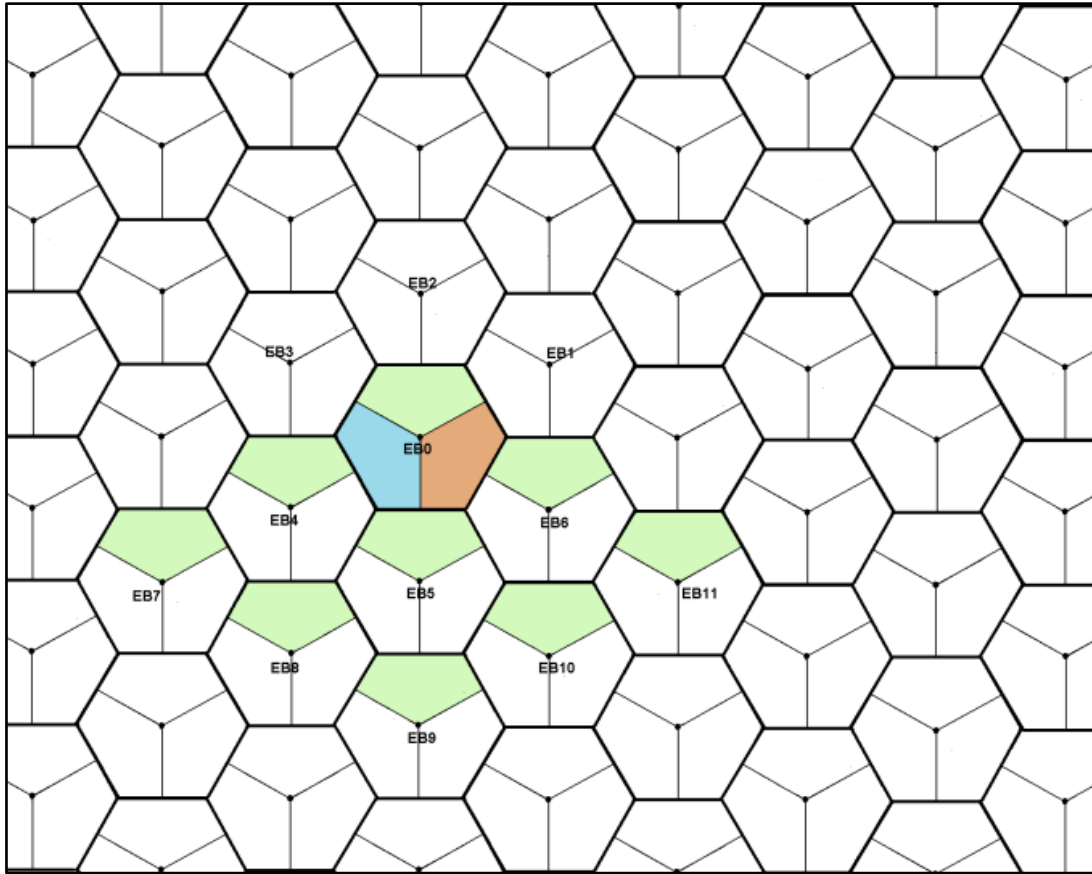


Figura 130: Sectores interferentes cuya contribución se estima significativa en el *Sector 1* de la *EB0*.
(Enlace Descendente)

Las coordenadas de las ocho Estaciones Base, indicadas en la figura anterior, que interfieren en el *Sector 1* de la *EB0* son:

$$EB4: \left(-\frac{3}{2}r, -\frac{\sqrt{3}}{2}r\right)$$

$$EB5: (0, -\sqrt{3}r)$$

$$EB6: \left(\frac{3}{2}r, -\frac{\sqrt{3}}{2}r\right)$$

$$EB7: (-3r, -\sqrt{3}r)$$

$$EB8: \left(-\frac{3}{2}r, -\frac{3}{2}\sqrt{3}r\right)$$

$$EB9: (0, -2\sqrt{3}r)$$

$$EB10: \left(\frac{3}{2}r, -\frac{3}{2}\sqrt{3}r\right)$$

$$EB11: (3r, -\sqrt{3}r)$$

2.6.2.1.2. Comparativa de Resultados con Tres y Ocho Estaciones Base Interferentes

El objetivo que se persigue en este apartado es realizar una comparativa de resultados entre el caso de que se consideren ocho EB interferentes sobre el *Sector 1* (de la región de cobertura de la *EB0*) y el caso en que sólo se consideraban tres EB interferentes, a fin de valorar el error cometido anteriormente.

Para ello, se va a realizar una simulación, en paralelo, de ambos escenarios con $r=3\text{Km}$, mostrando a la izquierda las gráficas resultantes para el caso tres células interferentes, y a la derecha, las resultantes para el caso de ocho células interferentes.

A continuación se muestra el corte de la gráfica 3-D de la SINR, según la bisectriz del Sector 1, para diferentes valores de n :

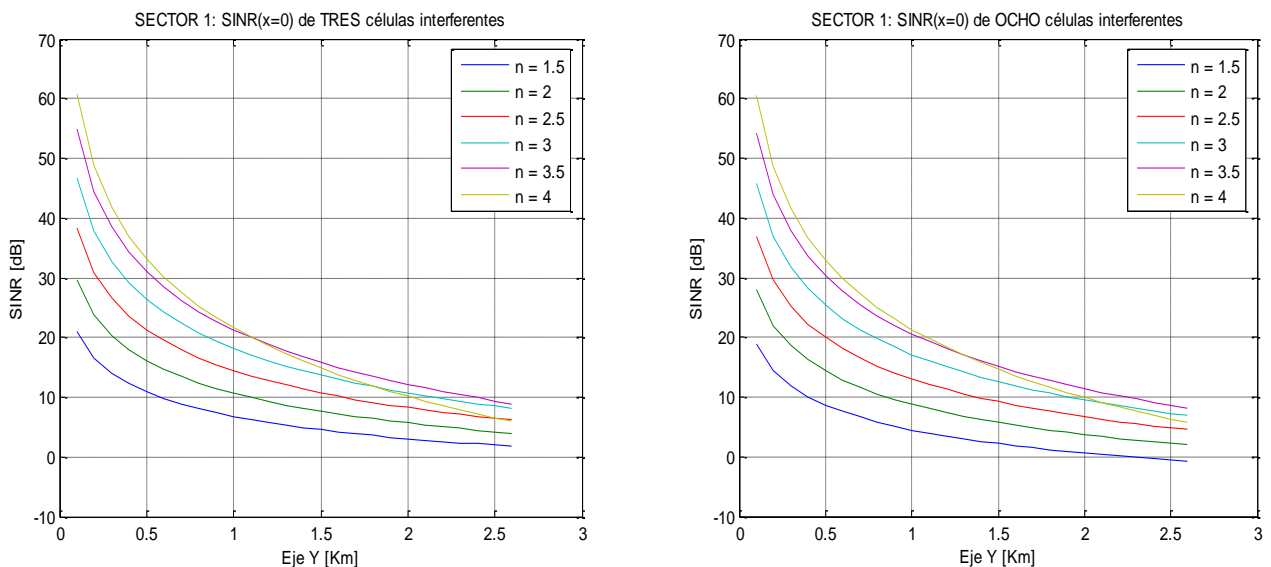


Figura 131: Cortes de la gráfica 3-D de la SINR, según la bisectriz del *Sector 1*, para diferentes valores de n .
(Comparativa entre la consideración de tres u ocho células interferentes)

En estas gráficas puede observarse que las curvas para el caso de ocho EB interferentes quedan ligeramente por debajo de las obtenidas para el caso de tres EB interferentes (lo que denota mayor interferencia), como cabía esperar, si bien, sólo resulta claramente apreciable para valores de n bajos.

En las siguientes gráficas se muestran las curvas anteriores de SINR normalizadas, respecto de su correspondiente valor máximo:

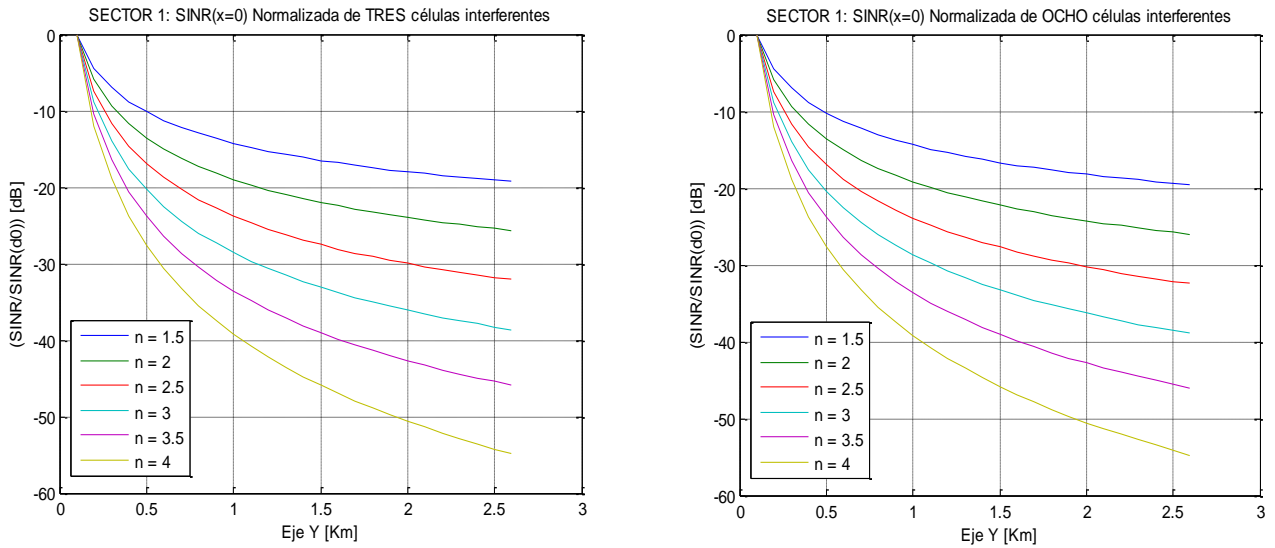


Figura 132: Cortes de SINR normalizada, según la bisectriz del *Sector 1*, para diferentes valores de n .
(Comparativa entre la consideración de tres u ocho células interferentes)

En el corte de SINR normalizada no se aprecia diferencia entre ambas gráficas, o resulta muy difícil evaluarla, lo que indica que las curvas en uno y otro caso se van a atenuar de forma muy similar.

Sin perjuicio de lo comentado, a continuación se va a efectuar un análisis más riguroso de los resultados anteriores. Para ello, se va a representar la diferencia entre las curvas de SINR de uno y otro caso.

De este modo, en la gráfica de la izquierda se muestra la diferencia de valor correspondiente a las curvas sin normalizar y, en la de la derecha, la correspondiente a las curvas normalizadas:

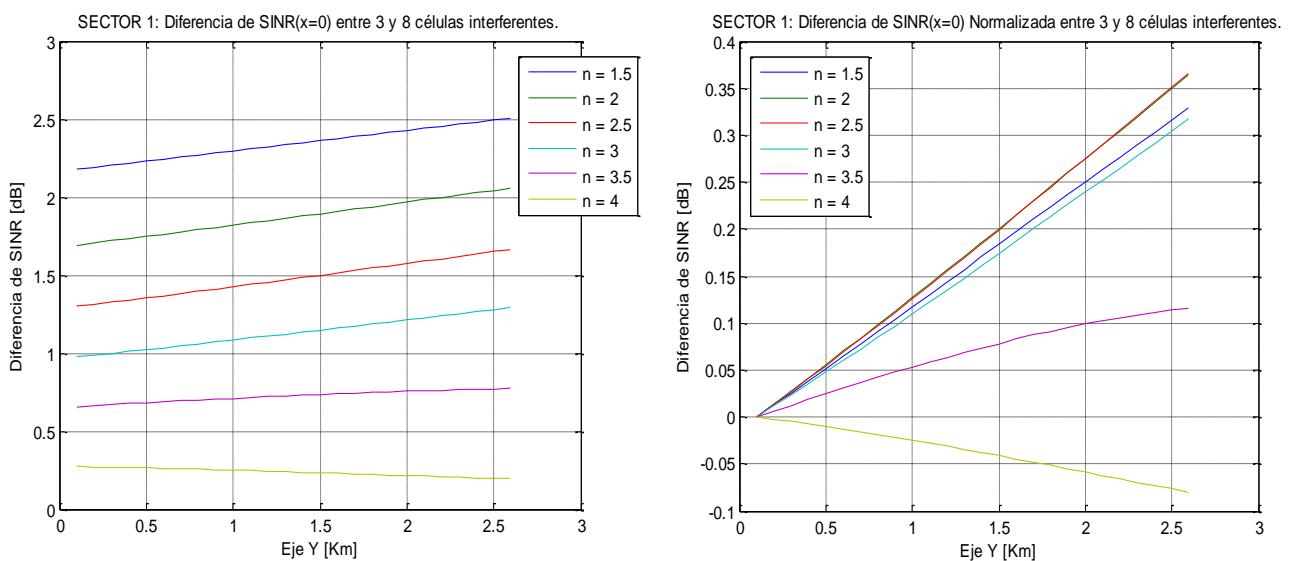


Figura 133:

Diferencia de valor entre las curvas de SINR obtenidas en los casos de tres y ocho células interferentes ($r=3$ Km).

Se muestran, a continuación, las dos gráficas anteriores en el caso de $r = 6$ Km:

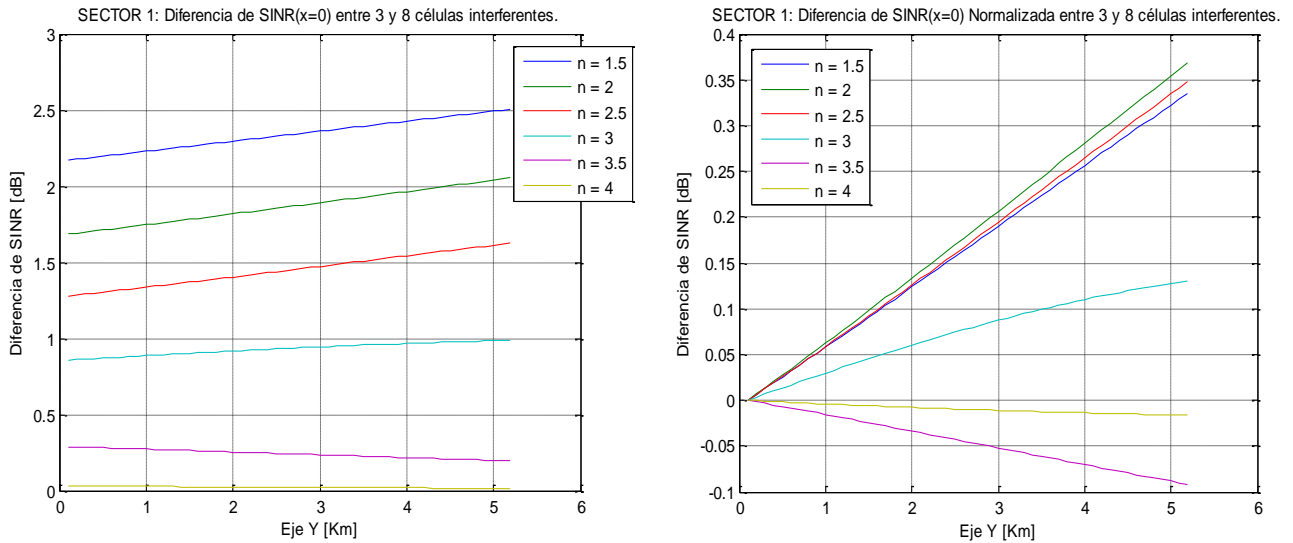


Figura 134:

Diferencia de valor entre las curvas de SINR obtenidas en los casos de tres y ocho células interferentes ($r=6$ Km).

La primera conclusión que puede extraerse es que la consideración de 3 células interferentes puede ser una buena aproximación en términos generales.

La comparativa de las gráficas de la izquierda de los casos de $r=3$ Km y $r=6$ Km confirma la conclusión lógica de que, la aproximación será tanto mejor, conforme el radio de cobertura de las células sea mayor (y, por ende, la separación entre las EB), si bien, resultando la mejoría inapreciable para coeficientes de pérdidas bajos ($n \leq 2.5$), y muy poco relevante para coeficientes mayores.

Se concluye, así mismo, que la aproximación es mejor a mayor valor de n , es decir, la diferencia entre considerar tres u ocho células interferentes es menor conforme aumenta el valor de n , según se observa en ambas gráficas de la izquierda.

Por otra parte, según se ha visto en ambos casos ($r = 3$ Km y $r = 6$ Km), la diferencia de SINR entre considerar tres y ocho EB interferentes (-en ese orden-) siempre sale ligeramente positiva, como cabía esperar.

Se desprende, por tanto, que la relación SINR es mayor para el caso de tres EB interferentes o, dicho de otro modo, que la potencia de señal interferente es mayor en el caso de ocho EB interferentes.

Sin perjuicio de lo anterior, y aunque se trata de un efecto prácticamente despreciable, puede observarse también en las gráficas de diferencia de SINR entre los escenarios de tres y ocho células interferentes que, en función del radio de cobertura considerado y del valor de n , esa diferencia evolucionará de modo distinto con la distancia, pudiendo aumentar o disminuir.

Para evaluar esa evolución de una forma más clara, hay que fijarse en las curvas de diferencia de SINR normalizada, entre uno y otro caso, representadas en las gráficas de la derecha. Éstas dan indicación de qué escenario produce una mayor atenuación de SINR a una cierta distancia de la *EB0*.

Obsérvese que las curvas de SINR normalizada son negativas para ambos escenarios. Estas curvas dan indicación del grado de atenuación de la SINR con la distancia

Por tanto, si la diferencia se mantiene negativa significará que el escenario Tribanda produce más atenuación a dicha distancia sobre la bisectriz del sector, y viceversa. En cualquier caso, se trata de diferencias muy poco significativas, y sólo sensibles para valores de n bajos.

En las simulaciones siguientes se va a considerar una población uniformemente distribuida de terminales móviles en la región de cobertura de la *EB0*, tomándose como radio de cobertura de la misma $r=3$ Km.

Aunque el análisis se va a efectuar sobre el *Sector 1* de la célula *EB0*, los resultados podrán tomarse como representativos de la región de cobertura de la célula en su conjunto.

Se empleará un número lo suficientemente grande como para obviar cualquier efecto inherente a la aleatoriedad propia de cada simulación, si bien, el triple que en el caso anterior de reutilización celular (apartado 2.6.1.1).

Este incremento tiene una doble finalidad: por una parte, el mantener el grado de definición de los histogramas sobre una superficie tres veces menor (dado que la célula se compone de tres sectores); por otra, el posibilitar la comparación directa de la amplitud de los histogramas, como si se tratasen de los de la célula en su conjunto, con los del caso anterior de reutilización celular.

Al igual que se hizo con las simulaciones anteriores de este apartado, se va a proseguir la comparativa en paralelo, ahora desde la perspectiva estadística, mostrando a la izquierda las gráficas resultantes para el caso tres células interferentes, y a la derecha, las resultantes para el caso de ocho células interferentes.

Se va a comenzar mostrando la gráfica de la Función de Distribución de Probabilidad Estimada de SINR[dB] en el *Sector 1* de la célula *EB0*, para los distintos valores del coeficiente n :

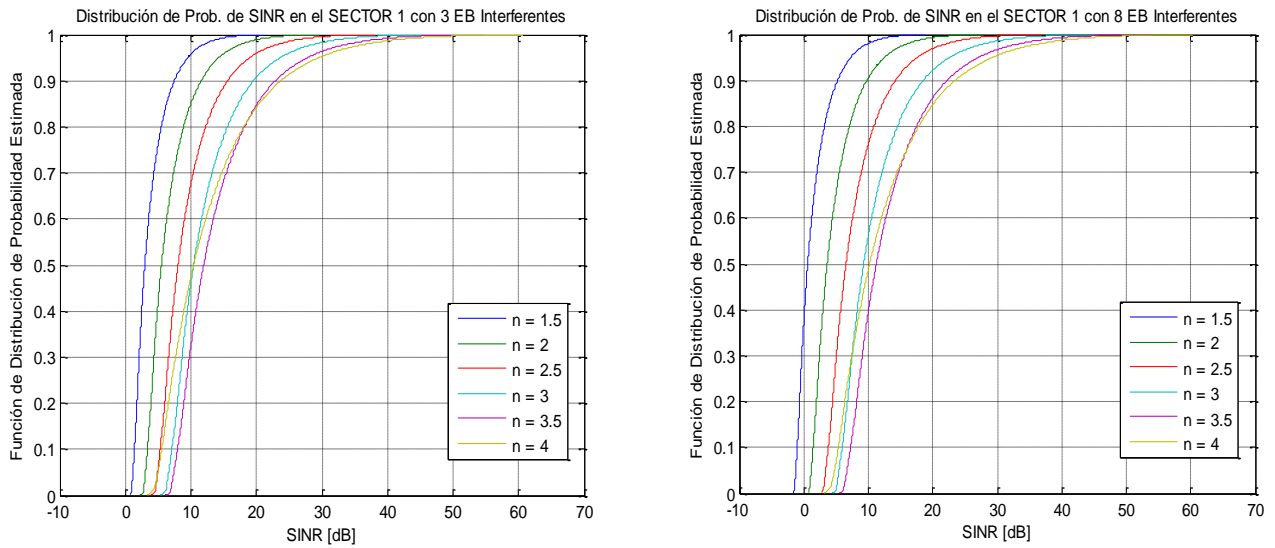


Figura 135: Comparativa de curvas de $CDF(SINR[db])$ con tres y ocho EB interferentes en el *Sector 1* de la *EBO*.

A continuación se muestra la gráfica de la Función de Distribución de Probabilidad Estimada de $R[Mbps]$ en el *Sector 1* de la célula *EBO*, para los distintos valores del coeficiente n :

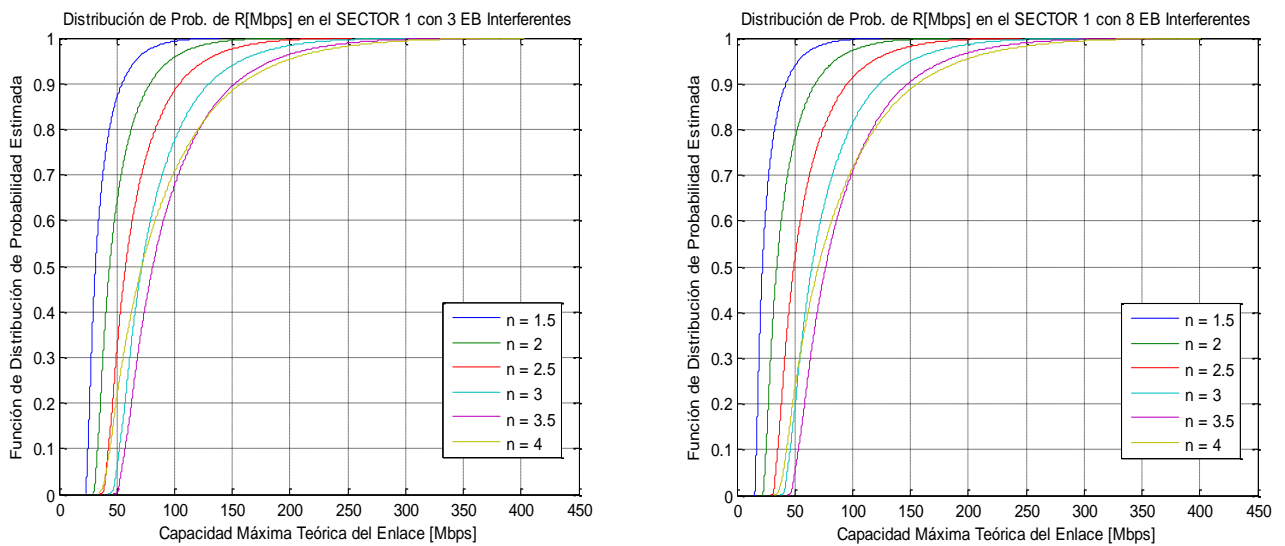


Figura 136: Comparativa de curvas de $CDF(R[Mbps])$ con tres y ocho EB interferentes en el *Sector 1* de la *EBO*.

Coherentemente con las conclusiones anteriores, las gráficas anteriores ponen de manifiesto diferencias que se hacen más significativas conforme disminuye el valor de n , si bien, aparentemente, poco sustanciales para $n \geq 3$.

Las gráficas siguientes muestran la comparativa de histogramas de SINR en el *Sector 1* de la célula *EB0*, para $n=2$:

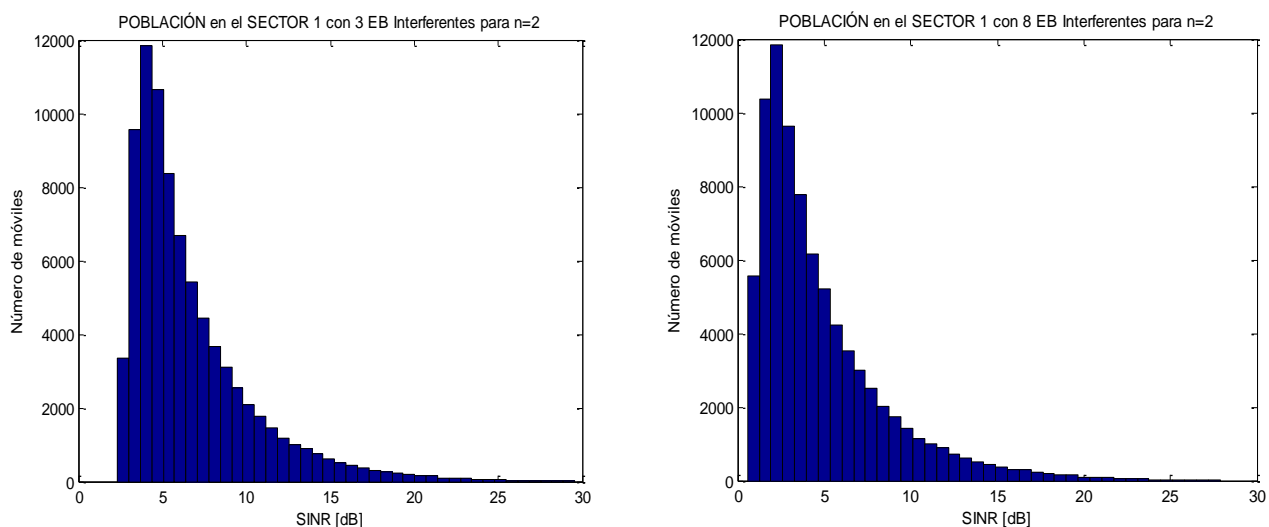


Figura 137:

Comparativa de distribuciones de población, con tres y ocho EB interferentes, en el *Sector 1* de la *EB0*, para $n=2$.

Las gráficas siguientes muestran las envolventes normalizadas de los histogramas anteriores:

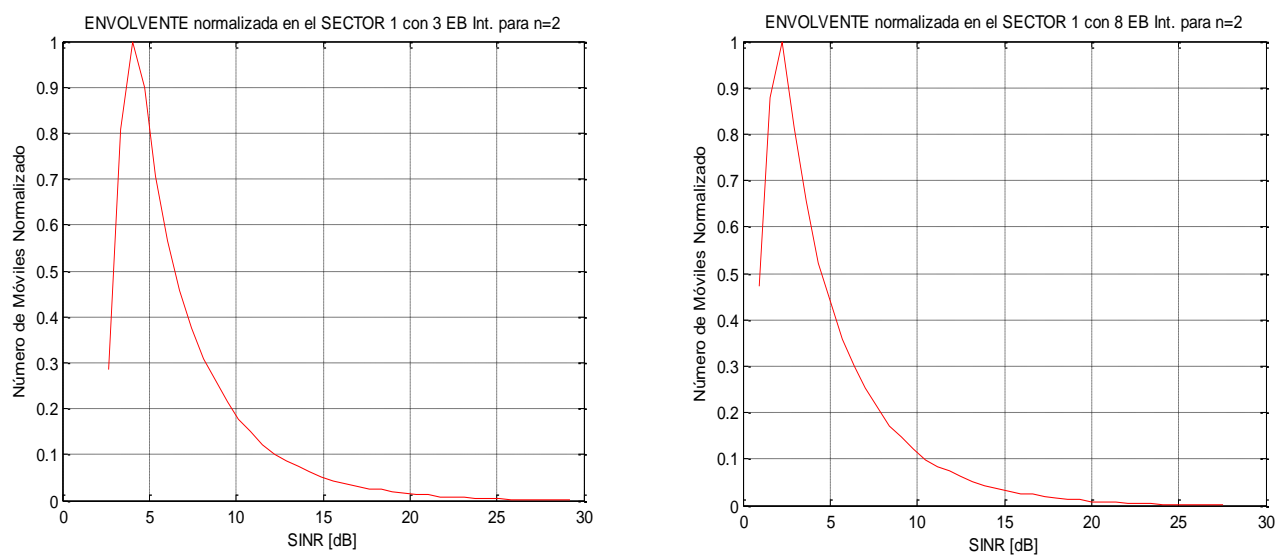
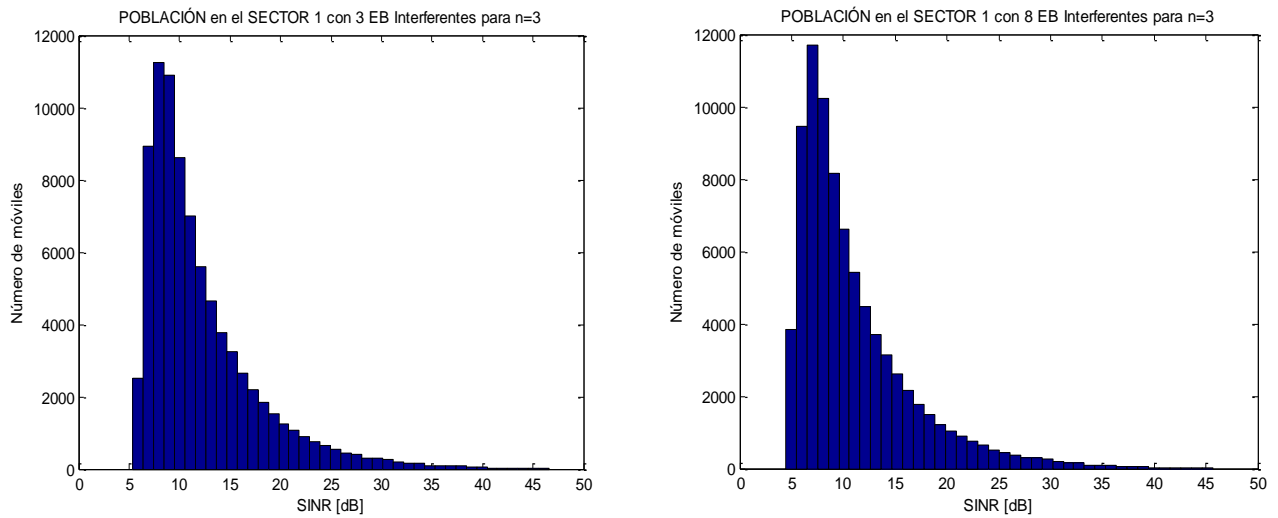


Figura 138:

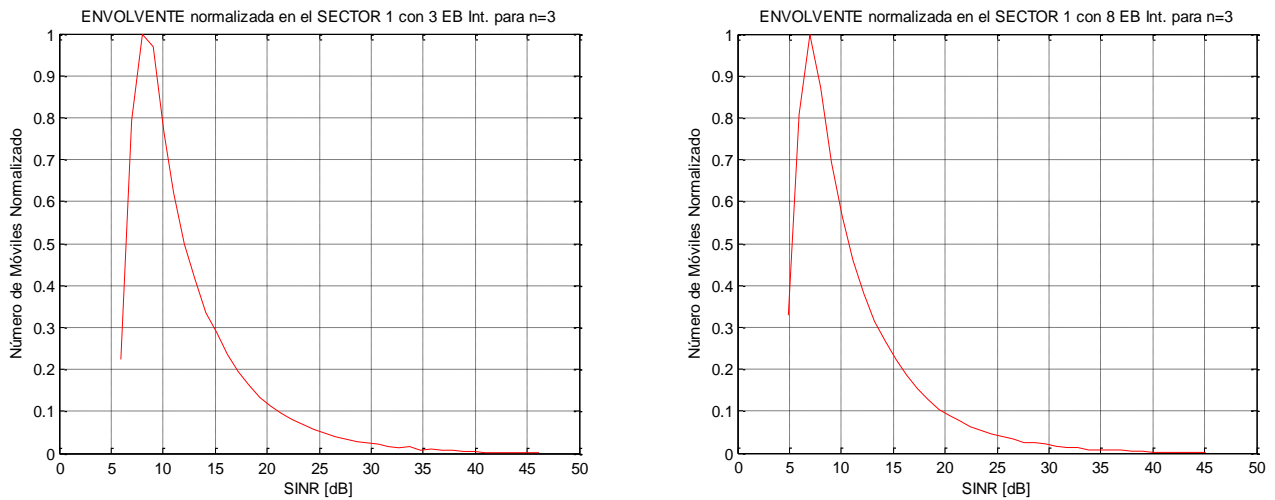
Comparativa de envolventes de población, con tres y ocho EB interferentes, en el *Sector 1* de la *EB0*, para $n=2$.

Las gráficas siguientes muestran la comparativa de histogramas de SINR en el *Sector 1* de la célula *EB0*, para $n=3$:

**Figura 139:**

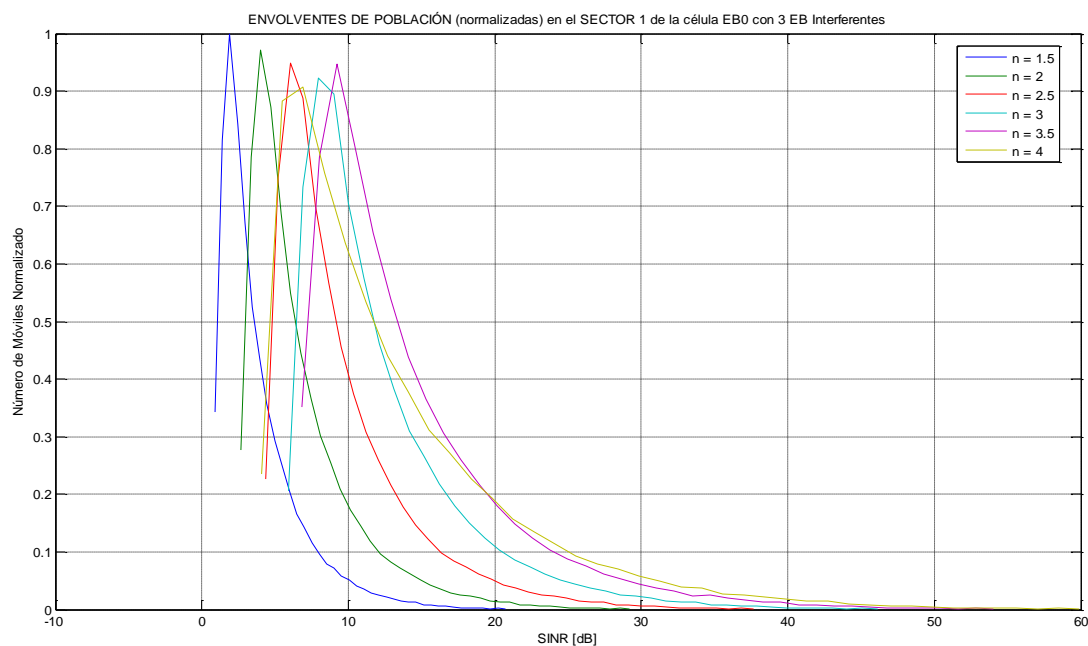
Comparativa de distribuciones de población, con tres y ocho EB interferentes, en el *Sector 1* de la *EB0*, para $n=3$.

Las gráficas siguientes muestran las envolventes normalizadas de los histogramas anteriores:

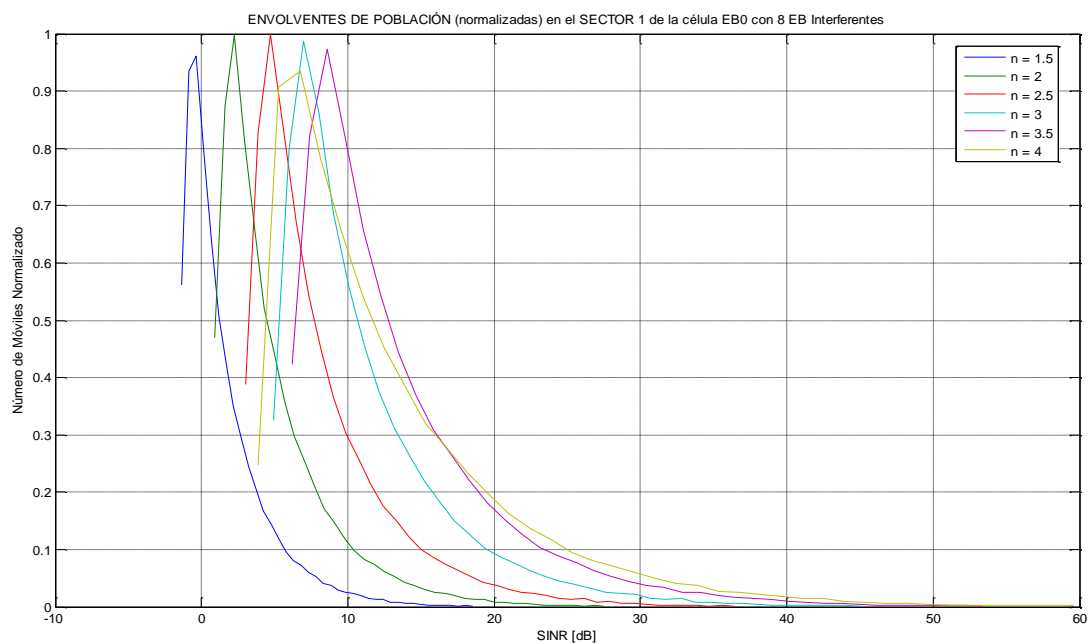
**Figura 140:**

Comparativa de envolventes de población, con tres y ocho EB interferentes, en el *Sector 1* de la *EB0*, para $n=3$.

Los histogramas, en su amplitud y forma, ponen de manifiesto diferencias más fácilmente apreciables que en las curvas de CDF, que hacen que se precisen de valores de n algo más elevados ($n \geq 3.5$) para que éstas se vuelvan poco significativas, según puede apreciarse en las gráficas mostradas a continuación, donde se representan de forma conjunta las envolventes resultantes para los distintos valores de n .

**Figura 141:**

Envolventes de Población, en función de la SINR[dB], para los distintos valores de n , con 3 EB Interferentes.

**Figura 142:**

Envolventes de Población, en función de la SINR[dB], para los distintos valores de n , con 8 EB Interferentes.

Salvando el hecho de que estas gráficas se encuentran normalizadas, cada una, respecto de su correspondiente máximo, hay que decir que las diferencias antes referidas se deben, en buena medida, al algoritmo concreto empleado por Matlab para la construcción de los histogramas, ajustando el número de barras especificado al rango de valores a computar.

2.6.2.2. Reutilización de Frecuencias Intercelular

Resulta evidente que el número de sectores no puede ampliarse indefinidamente, siendo los casos más habituales de segmentación los de 120° y 60° , entre los que se encuentran los dos casos anteriores (reutilización sectorial de 3 y 6 frecuencias, respectivamente).

Nótese que esta limitación no se presenta en el caso de la reutilización celular de frecuencias, donde puede emplearse un radiocanal distinto en cada célula de un grupo numeroso de ellas, que resulte escalable.

Sin embargo, no hay limitación para la aplicación de la reutilización sectorial de frecuencias de forma intercelular, es decir, a un conjunto de ellas que permita la escalabilidad del modelo, combinando, así, las bonanzas de la reutilización celular de frecuencias y la reutilización sectorial intracelular.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de reutilización sectorial intercelular, en el que se emplea sectorización de 120° con reutilización de cuatro frecuencias. El ejemplo se ha extendido para mostrar que el modelo es perfectamente escalable.

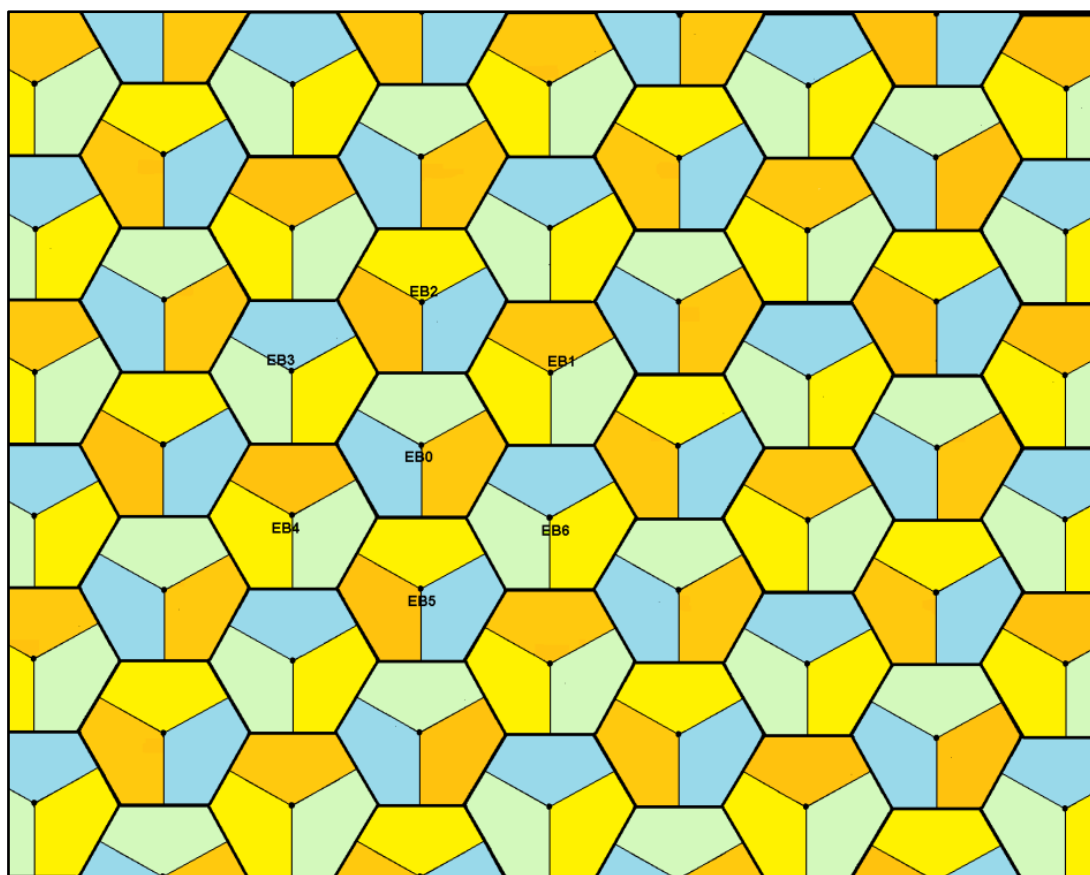


Figura 143: Reutilización sectorial de 120° con cuatro frecuencias.

2.6.2.2.1. Reutilización Sectorial Tetrabanda

A continuación se va a analizar la SNR y SINR, asociadas al enlace descendente, en la región de cobertura de la *EB0* del ejemplo anterior.

Nótese que el escenario resulta idéntico respecto de la bisectriz de cualquiera de los tres sectores de la *EB0*, por lo que el análisis se centrará en un único sector, tomándose el *Sector 1*.

El Sector 1 de la *EB0* comprende el rango de azimut $[30^\circ, 150^\circ]$. En este caso, a diferencia del de reutilización sectorial de tres frecuencias, no es posible identificar el *Sector 1* de las distintas células con un mismo color. Dicho en otras palabras, en este caso no existe un radiocanal específico del *Sector 1* de las células.

Por consiguiente, en primer lugar, habrá que identificar todos aquellos sectores que emplean el mismo radiocanal que el *Sector 1* de la *EB0*, según muestra la figura siguiente:

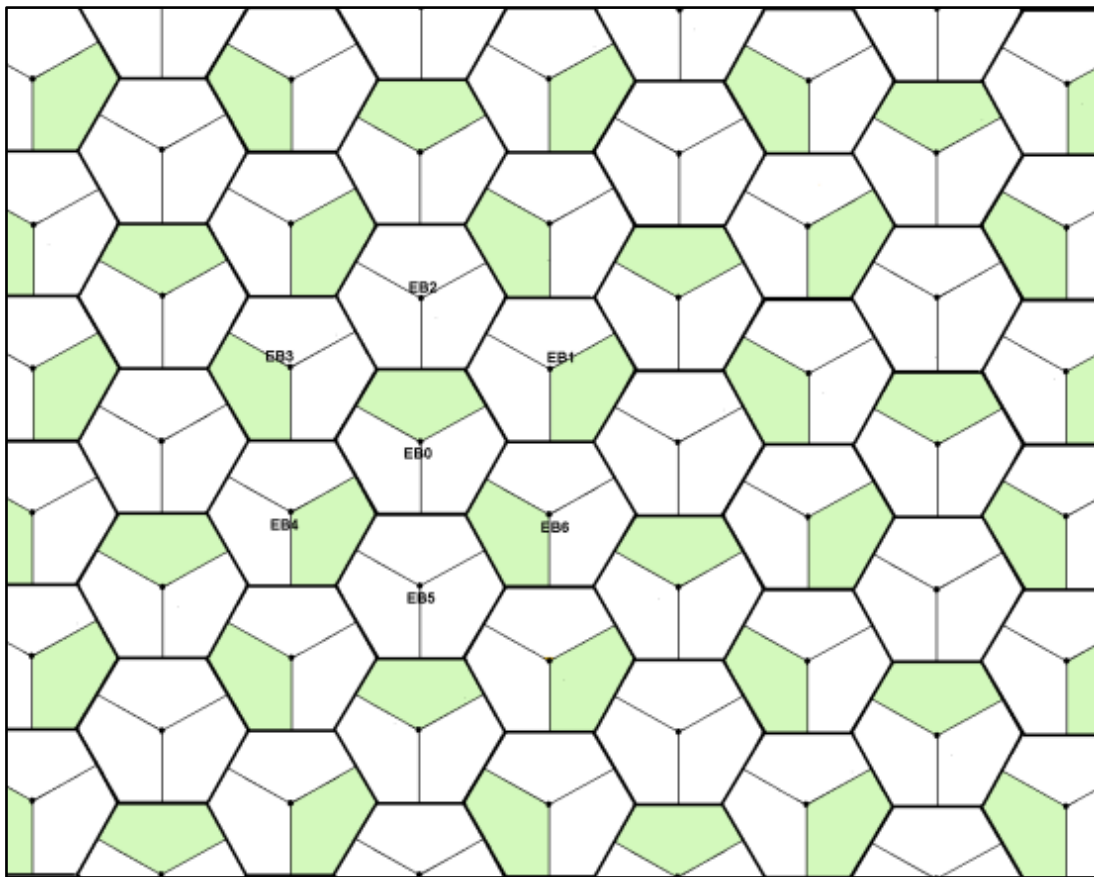


Figura 144: Sectores que emplean en mismo radiocanal que el *Sector 1* de la *EB0*.

Nótese, a la luz de la figura, que en este escenario se verifica que:

$$d2_{min} = 2r$$

$$d3_{min} = \sqrt{3} \cdot r$$

Este escenario mejora la $d_{2_{min}}$ con respecto al caso de reutilización sectorial de seis frecuencias, consiguiéndolo con menores requerimientos de ancho de banda de red, al emplear un menor número de frecuencias. Como contrapartida de ello, empeora la capacidad de acceso simultáneo de usuarios en la célula, con respecto al anterior.

Una vez identificados los sectores que emplean el mismo radiocanal, habrá que atender a la orientación de los mismos, a fin de determinar cuáles de ellos interfieren sobre la región de cobertura del *Sector 1* de la *EB0*.

En la figura siguiente se muestran los sectores de las células circundantes que podrían interferir sobre el *Sector 1* de la *EB0*:

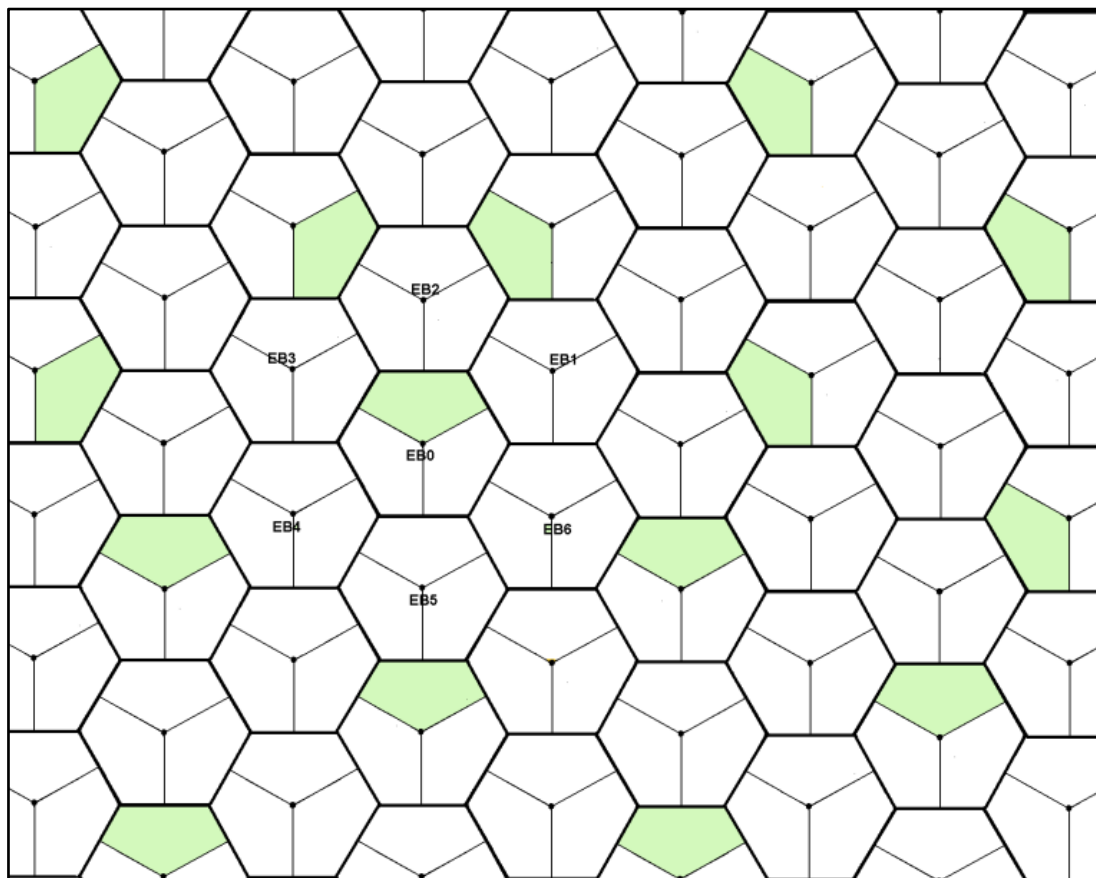


Figura 145: Sectores interferentes en el *Sector 1* de la *EB0*.
(Enlace Descendente)

Por último, se restringirá el análisis a las EB más cercanas. A fin de poder establecer una comparativa lo más rigurosa posible con el caso de reutilización sectorial de tres frecuencias (o tribanda), en el que se consideró la contribución interferente hasta el segundo anillo celular, se considerarán todas la EB interferentes que se encuentren a una distancia de la *EB0* inferior a $d=3\sqrt{3} \tau$, correspondiente a la separación de la misma con respecto a las EB del tercer anillo celular.

En la figura siguiente se muestran las Estaciones Base finalmente consideradas en el análisis:

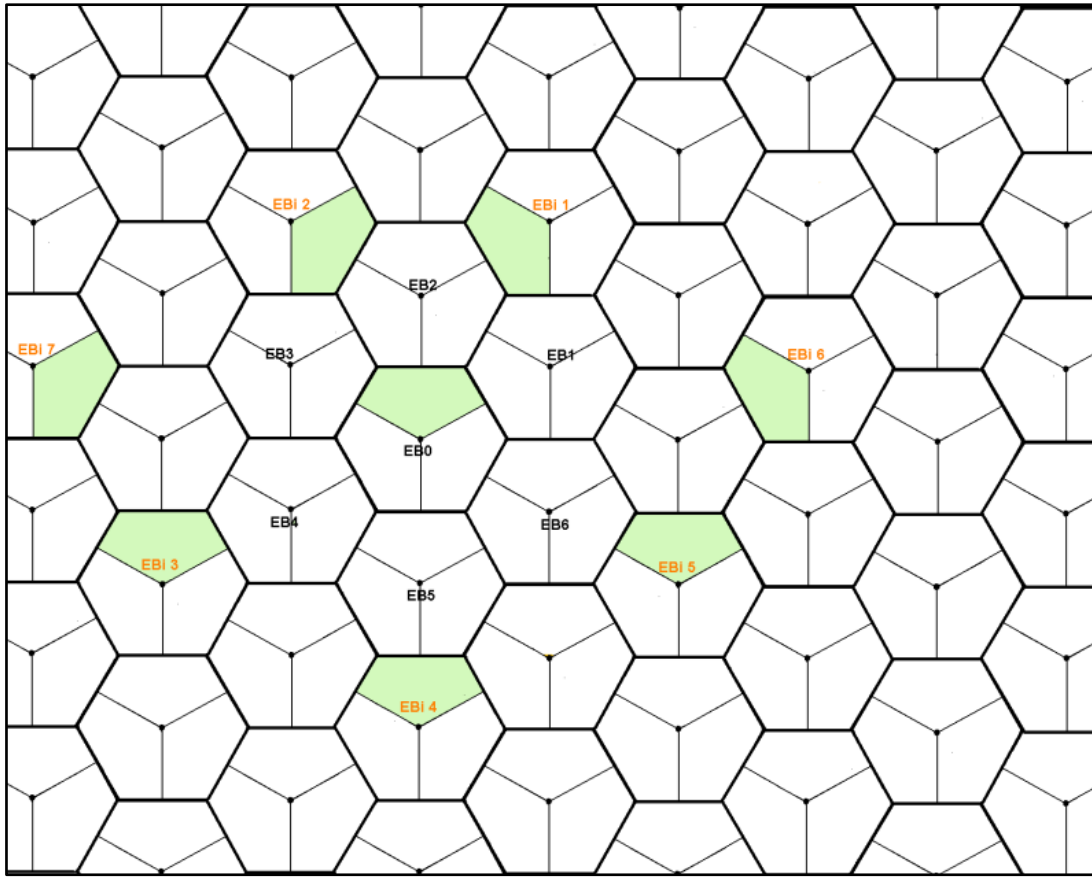


Figura 146: Sectores interferentes en el *Sector 1* de la *EB0* cuya contribución se estima significativa.
(Enlace Descendente)

Las coordenadas de las siete Estaciones Base, indicadas en la figura anterior, que interfieren en el *Sector 1* de la *EB0* son:

$$EBi1: \left(\frac{3}{2}r, \frac{3}{2}\sqrt{3}r \right)$$

$$EBi2: \left(-\frac{3}{2}r, \frac{3}{2}\sqrt{3}r \right)$$

$$EBi3: \left(-3r, -\sqrt{3}r \right)$$

$$EBi4: \left(0, -2\sqrt{3}r \right)$$

$$EBi5: \left(3r, -\sqrt{3}r \right)$$

$$EBi6: \left(\frac{9}{2}r, \frac{\sqrt{3}}{2}r \right)$$

$$EBi7: \left(-\frac{9}{2}r, \frac{\sqrt{3}}{2}r \right)$$

En las simulaciones siguientes se va a considerar una población uniformemente distribuida de terminales móviles en la región de cobertura de la *EB0*, tomándose como radio de cobertura de la misma $r=3$ Km.

Aunque el análisis se va a efectuar sobre el *Sector 1* de la célula *EB0*, los resultados podrán tomarse como representativos de la región de cobertura de la célula en su conjunto.

Resultan las siguientes gráficas de Función de Distribución de Probabilidad Estimada de SINR[dB] (izquierda) y de R[Mbps] (derecha) en el *Sector 1* de la célula *EB0*, para los distintos valores del coeficiente n :

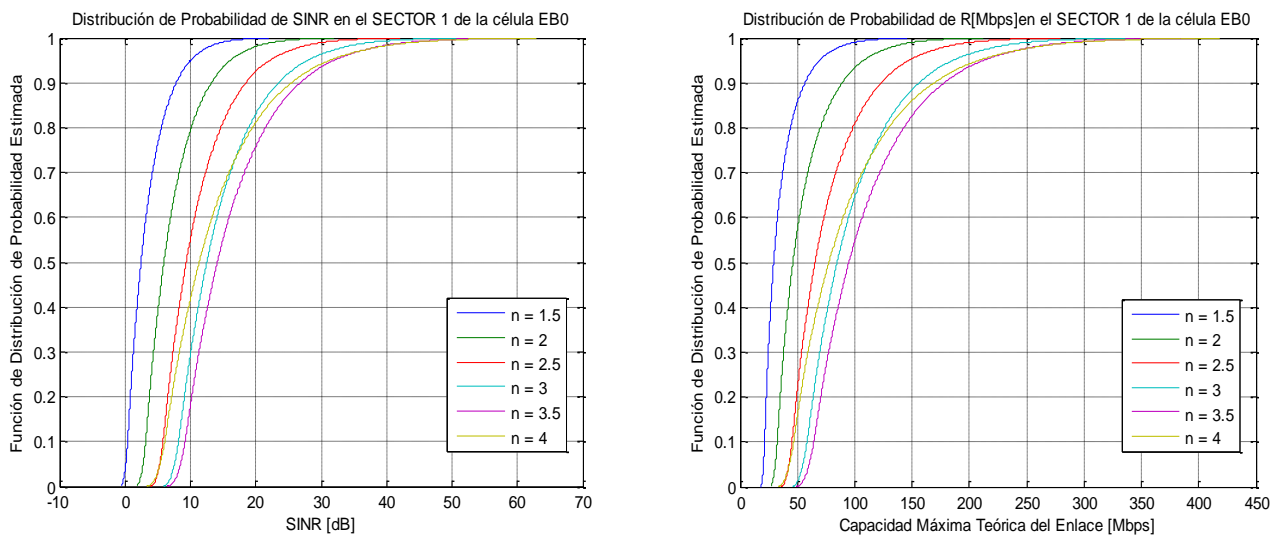


Figura 147: Curvas de CDF(SINR[dB]) y de CDF(R[Mbps]) en el *Sector 1* de la célula *EB0*.

A continuación, se muestran los histogramas de SINR obtenidos en el *Sector 1* de la célula *EB0*, para $n=2$ (izquierda) y $n=3$ (derecha):

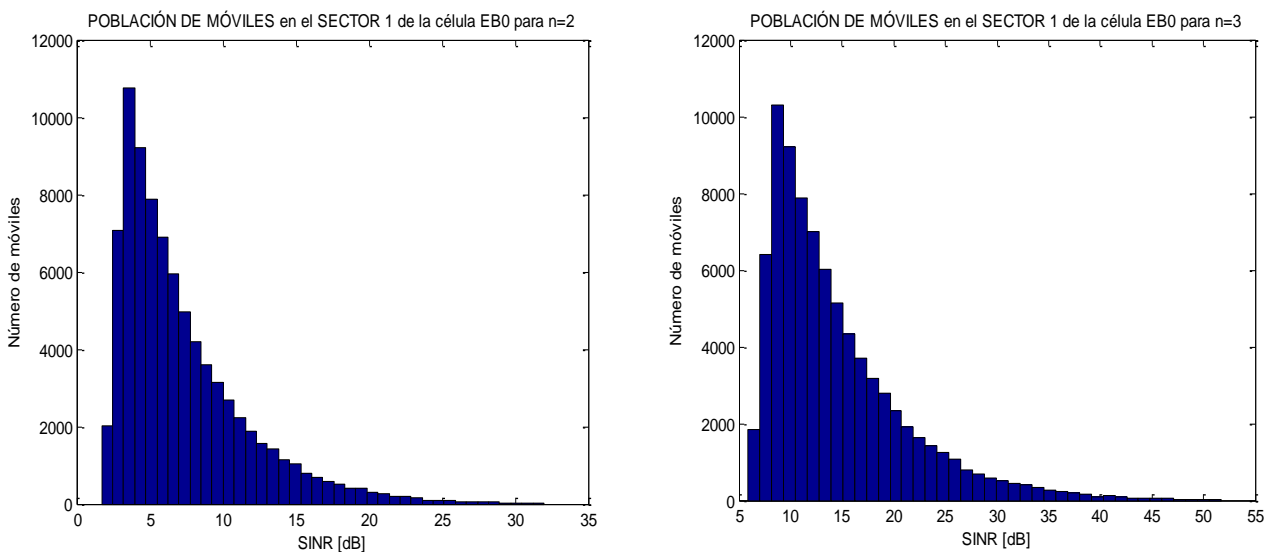


Figura 148: Distribución de Población en el *Sector 1* de la célula *EB0*, en función de la SINR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Las gráficas siguientes muestran las envolventes normalizadas de los histogramas anteriores:

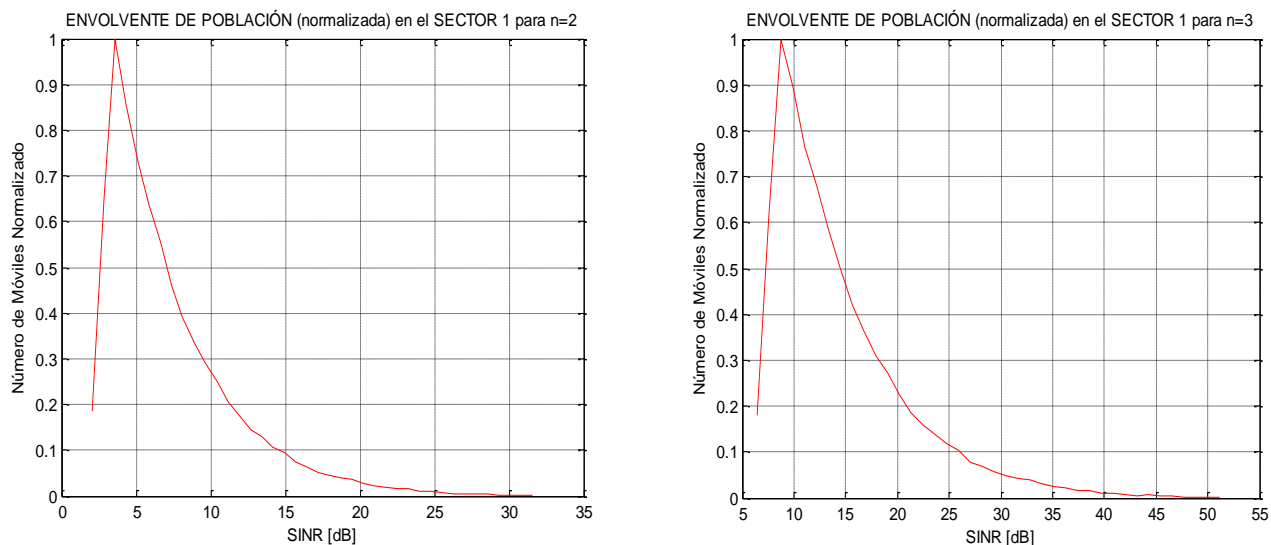


Figura 149:

Envolventes de Población en el Sector 1 de la célula *EB0*, en función de la SINR[dB], para $n=2$ y $n=3$.

Para comparar la forma de los histogramas de los distintos valores de n , se representa de forma conjunta las envolventes resultantes:

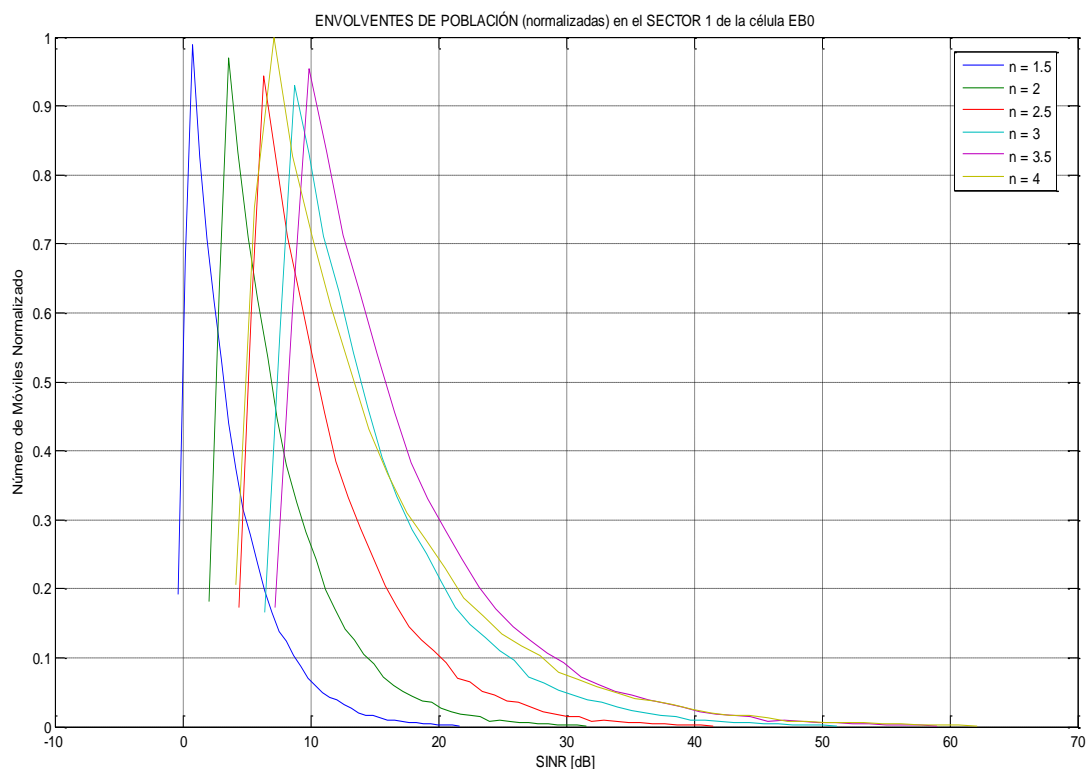


Figura 150:

Envolventes de Población en el Sector 1 de la célula *EB0*, en función de la SINR[dB], para los distintos valores de n .

2.6.2.3. Comparativa de Casos de Estudio

El objetivo que se persigue en este apartado es realizar una comparativa de resultados entre los dos casos estudiados de reutilización sectorial de 120° , planteados a modo ilustrativo de reutilización intracelular e intercelular.

Para ello, se va a realizar una simulación en paralelo con $r=3\text{Km}$, mostrando a la izquierda las gráficas resultantes para el caso de Reutilización Sectorial Tribanda, y a la derecha, las resultantes para el caso Tetrabanda.

Se significa que en el caso Tribanda se considerarán las ocho Estaciones Base Interferentes más cercanas, a fin de que la comparativa sea lo más rigurosa posible.

A continuación se muestra el corte de la gráfica 3-D de la SINR, según la bisectriz del Sector 1, para diferentes valores de n :

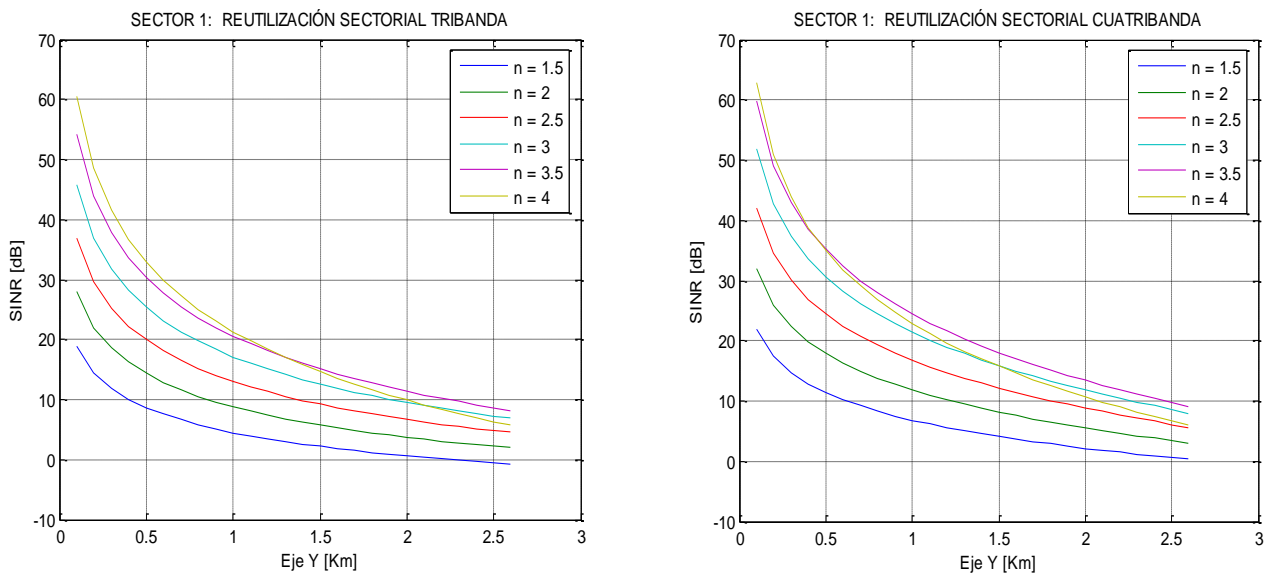


Figura 151: Corte de la gráfica 3-D de la SINR, según la bisectriz del Sector 1, para diferentes valores de n .
(Comparativa de gráficas entre la Reutilización Sectorial Tribanda y Tetrabanda)

Estas gráficas ponen de manifiesto el mejor comportamiento, en cuanto a protección frente a la interferencia, del escenario basado en Reutilización Sectorial Tetrabanda, al apreciarse que la amplitud de las curvas de SINR de éste último quedan por encima de las del escenario Tribanda.

En las siguientes gráficas se muestran las curvas anteriores de SINR normalizadas, respecto de su correspondiente valor máximo:

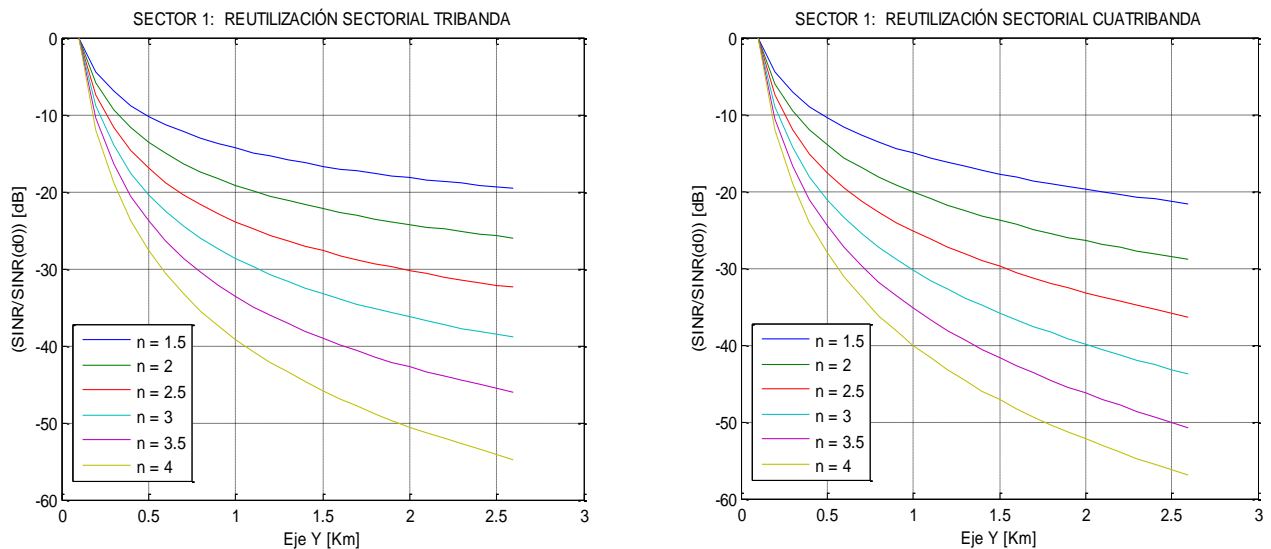


Figura 152: Cortes de SINR normalizada, según la bisectriz del *Sector 1*, para diferentes valores de n .
(Comparativa de gráficas entre la Reutilización Sectorial Tribanda y Tetrabanda)

Sin perjuicio de lo anterior comentado, éstas gráficas revelan que ofrece un peor comportamiento con la distancia el escenario Tetrabanda, dando lugar a una mayor atenuación de la SINR a una distancia cualesquiera de la *EB0*, cuya diferencia se vuelve muy significativa en el extremo de la bisectriz del sector.

A fin de corroborar las conclusiones enunciadas, se va a efectuar un análisis más riguroso de los resultados anteriores. Para ello, se va a representar la diferencia entre las curvas de SINR del escenario Tetrabanda y las del escenario Tribanda.

De este modo, en la gráfica de la izquierda se muestra la diferencia de valor correspondiente a las curvas sin normalizar y, en la de la derecha, la correspondiente a las curvas normalizadas:

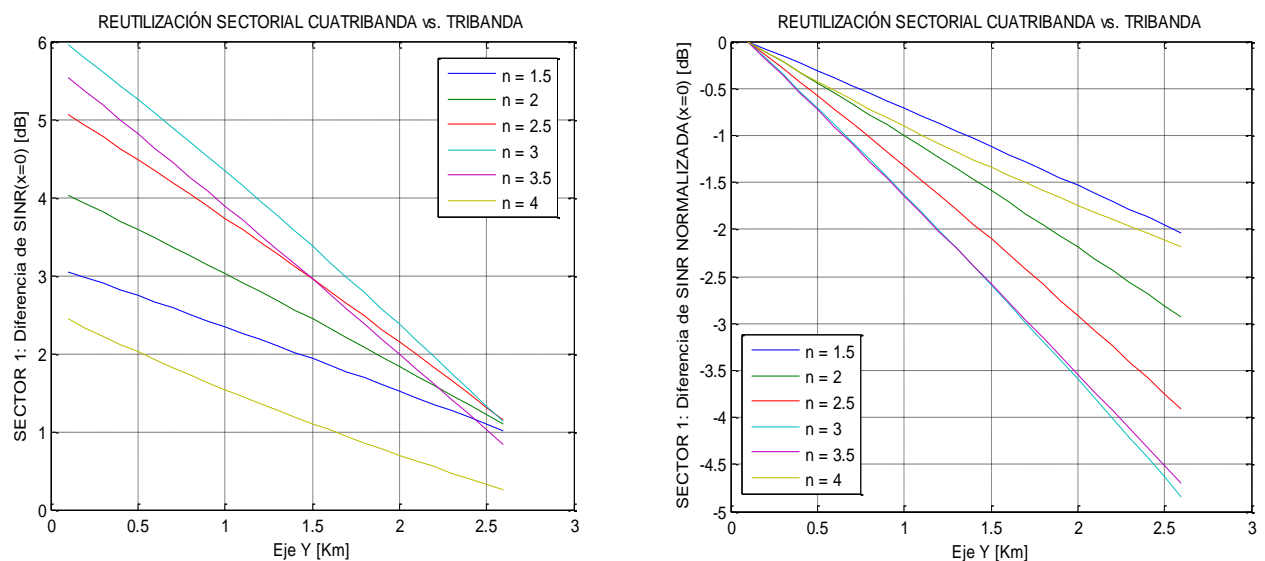


Figura 153:

Diferencia de valor entre las curvas de SINR de los casos de Reutilización Sectorial Tribanda y Tetrabanda.

La curva de la izquierda pone de manifiesto el mejor comportamiento frente a la interferencia, ya señalado, del escenario Tetrabanda, si bien, diluyéndose sensiblemente con la distancia a la *EB0*. Por su parte, la gráfica de la derecha cuantifica, para cada n , la diferencia de atenuación entre ambos escenarios, resultando desfavorable al escenario Tetrabanda.

2.6.3. Reutilización FFR

Frente a la reutilización celular de frecuencias, otro de los esquemas que mejora la capacidad de acceso simultáneo de usuarios a la red en la célula, a la vez que persigue la protección frente a la interferencia intercelular, es la **reutilización FFR de frecuencias**.

Ésta se basaría en la partición de la región de cobertura de la célula en unos pocos anillos concéntricos y el empleo de un radiocanal distinto en cada anillo, con la posterior reutilización de esos mismos radiocanales en los anillos de otras células, de tal forma que se pueda escalar el modelo con unos recursos de ancho de banda de red limitados.

Esta forma de fragmentar la región de cobertura celular entraña mayor dificultad que la tradicional segmentación, en lo que respecta a la iluminación de la zona, especialmente si la franja es relativamente estrecha.

Por este motivo, en las simulaciones de este documento sólo se considerará fragmentación celular en dos anillos de anchura similar.

2.6.3.1. Núcleo Celular Aislado

En este apartado no se van a considerar escenarios escalados, sino conjuntos o núcleos celulares aislados, para llevar a cabo el estudio preliminar.

Ahora bien, dado que lo que se pretende es estudiar el efecto de la interferencia sobre la región de cobertura de una determinada célula, sin perder de vista que el núcleo que la integra podría formar parte, a su vez, de una red mayor, se tomará para el análisis el conjunto formado por la célula bajo estudio y el anillo de células que la rodean con el que limitaría dentro de un panal hexagonal regular.

Salvo que se especifique lo contrario, los **Parámetros de Trabajo** empleados en las simulaciones de este apartado serán:

Radio de Cobertura de las Células: $r=3$ Km

Radio de Cobertura del Anillo Interior: $r_0=1.5$ Km

Frecuencia Central del Radiocanal del Anillo Interior: $f_{int}=1800$ MHz

Frecuencia Central del Radiocanal del Anillo o Borde Exterior: $f_{ext}=2600$ MHz

Potencia Isotrópica Radiada Equivalente: $PIRE=53$ dBm

Ganancia de la Antena del Terminal Móvil: $G_m=0$ dB

Ancho de Banda Equivalente de Ruido del Receptor del Terminal Móvil: $B_{eq}=20$ MHz

Factor de Ruido del Receptor del Terminal Móvil: $F=10$ dB
 Factor de Ruido de la Antena del Terminal Móvil: $F_{ant}=10$ dB
 Distancia de Referencia del Modelo Log-Distancia: $d_0=100$ metros
 Coeficiente de Pérdidas: $n \in \{1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4\}$

En todos los casos de este apartado considerará una **población uniformemente distribuida** de terminales móviles dentro de la región de cobertura de la $EB0$.

Entre los diferentes coeficientes de pérdidas n aplicados, la comparativa se centrará en el valor propio de espacio libre ($n=2$) y un valor típico representativo de un ambiente suburbano ($n=3$) [5].

Al igual que en los apartados precedentes, se va a identificar cada color de las figuras con un único radiocanal, sin perjuicio de que en la comparativa de escenarios reales, presentada más adelante, cada color represente el conjunto de radiocanales de una misma subbanda.

2.6.3.1.1. Región de Cobertura Circular

Para comprender posteriormente algunos efectos, se va a comenzar el estudio aplicando el modelo de célula circular aislada sobre la región de cobertura de la $EB0$, según se muestra en las figuras de este apartado.

a) Reutilización FFR Bibanda

Considérese, para su análisis, el siguiente escenario FFR de dos radiocanales:

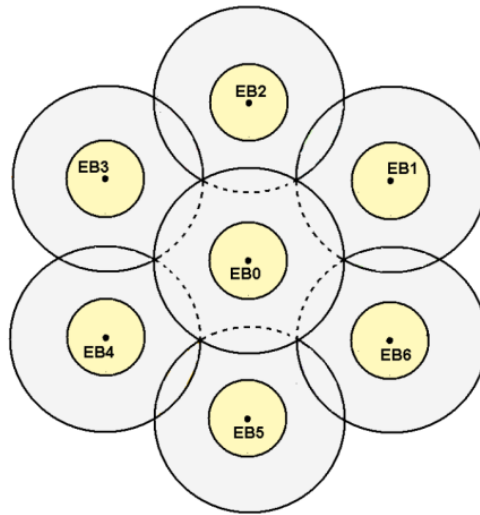


Figura 154: Panal FFR de dos radiocanales constituido por siete circulares solapadas.

Se pretende hacer el estudio de este escenario considerando la región de cobertura de la $EB0$ bajo el modelo de célula circular aislada, es decir, asumiendo que la región de cobertura de su titularidad en el panal viene determinada íntegramente por el radio r de la misma.

De este modo, considerando que el núcleo celular anterior se encuentra aislado, el escenario a estudiar sería el de la figura inferior izquierda:

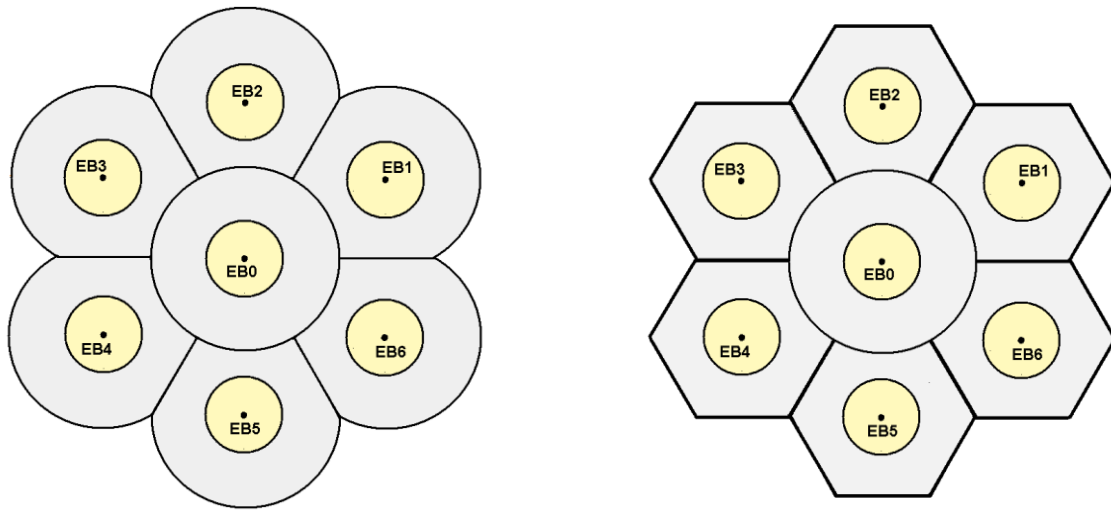


Figura 155: Escenario bajo estudio en el presente apartado.

No obstante, dado que el análisis se va a ceñir a la región de cobertura de la *EB0*, también puede verse este mismo conjunto celular como parte de un panal de red, en el que se ha considerado únicamente el primer anillo celular interferente sobre la región de cobertura de la *EB0*, según se muestra en la figura de la derecha anterior.

A continuación se muestran las curvas de la $CDF(SINR[dB])$ y de la $CDF(R[Mbps])$ del **anillo interior** de la célula *EB0* para distintos valores del coeficiente de pérdidas n , en las figuras de la izquierda y derecha siguientes, respectivamente:

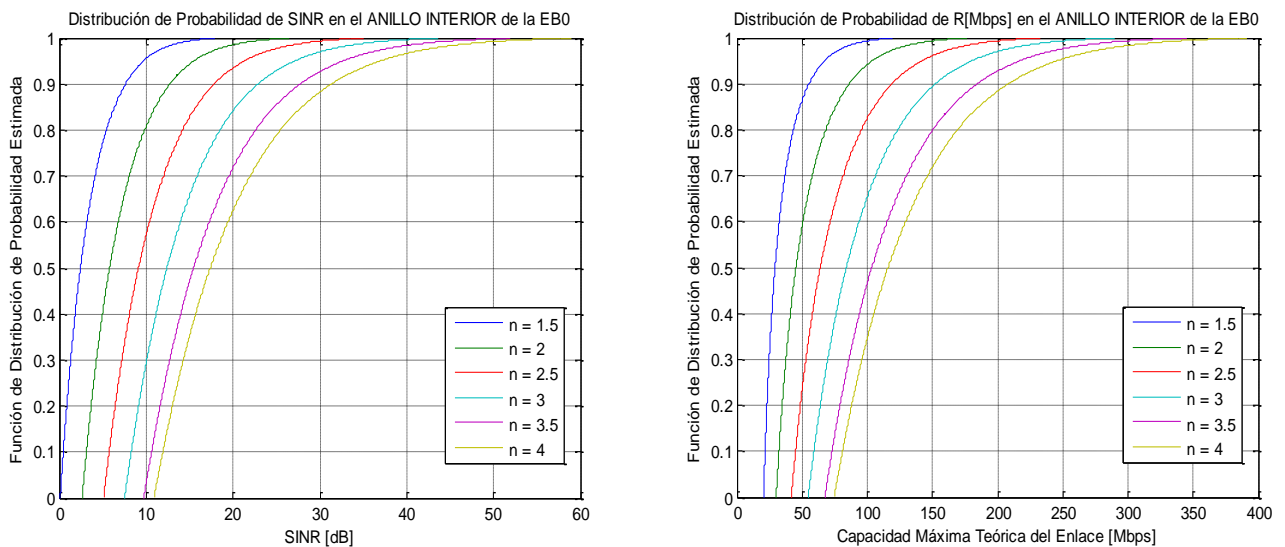


Figura 156: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y de $CDF(R[Mbps])$ en el Anillo Interior de la célula *EB0*.

De igual modo, se muestran las curvas de la $CDF(SINR[dB])$ y de la $CDF(R[Mbps])$ del **anillo exterior** de la célula *EB0* para distintos valores del coeficiente de pérdidas n , en las figuras de la izquierda y derecha siguientes, respectivamente:

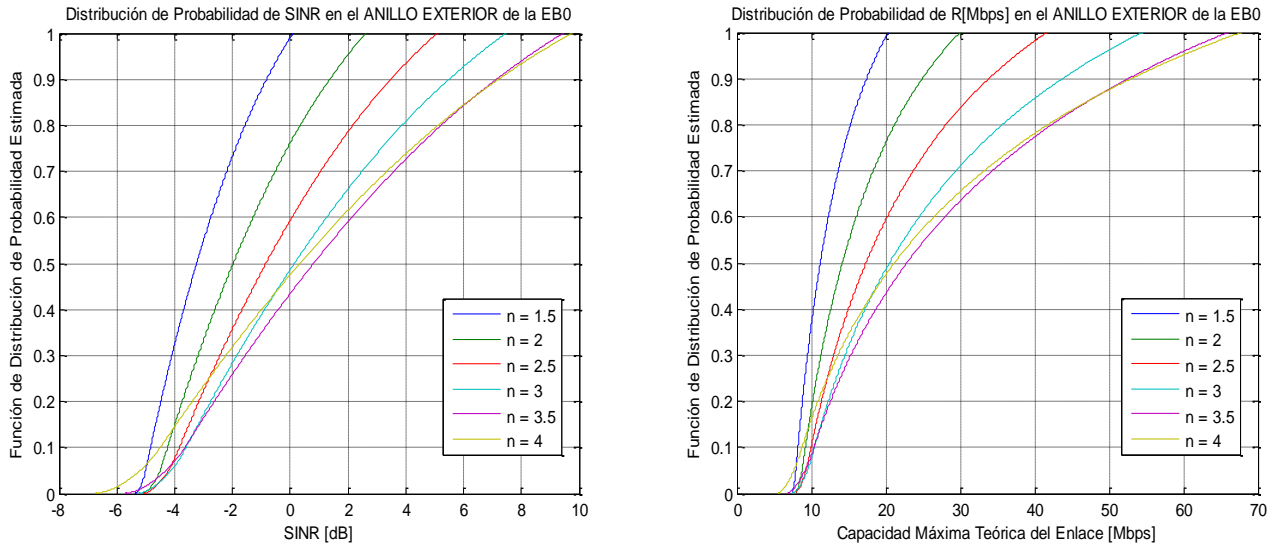


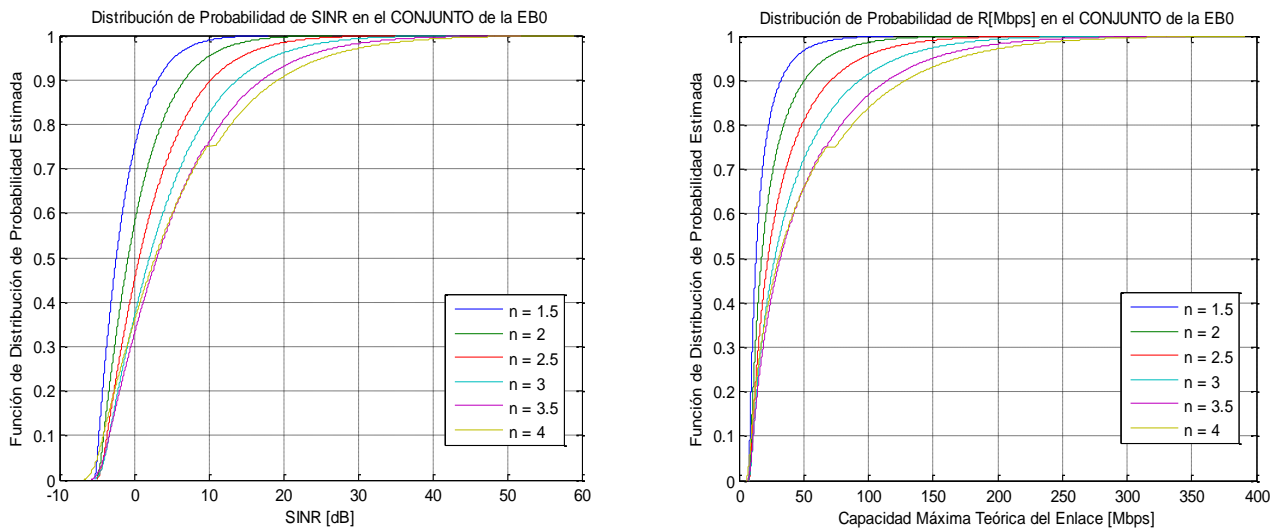
Figura 157: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y de $CDF(R[Mbps])$ en el Anillo Exterior de la célula *EB0*.

Resulta, cuanto menos, significativo que, en las gráficas anteriores, se cruce alguna de las curvas con las demás (la de $n=4$, y en menor medida, la de $n=3.5$).

Este efecto puede explicarse atendiendo a las gráficas que muestran los cortes de SINR en función de la distancia para distintos n , en las que podía observarse que, para los n elevados, la SINR alcanzaba valores considerablemente mayores en las proximidades de la Estación Base, aminorándose más rápido con la distancia.

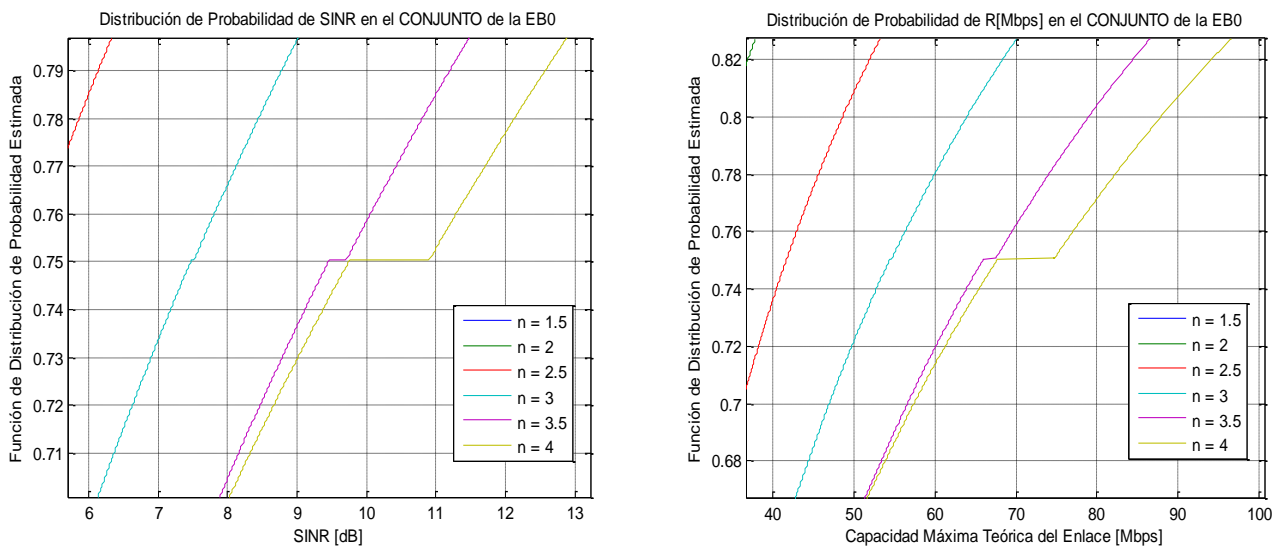
Por consiguiente, este fenómeno no resulta intuitivo, si bien, se justifica teniendo en cuenta que en la expresión de la SINR, tanto el numerador (la potencia de señal) como el denominador (la potencia interferente, a la que se le añade la potencia de ruido) dependen de n y de la relación de distancias al terminal móvil que, en cada punto de la región de cobertura, se establezca desde la Estación Base de la propia célula y desde la de las células interferentes.

Finalmente, se muestran las curvas de la $CDF(SINR[dB])$ y de la $CDF(R[Mbps])$ de la **región de cobertura de la EB0 en su conjunto**, para los distintos valores del coeficiente de pérdidas n , en las figuras de la izquierda y derecha siguientes, respectivamente:

**Figura 158:**

Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y de $CDF(R[Mbps])$ en el conjunto de la región de cobertura de la célula *EBO*.

Puede observarse en las gráficas anteriores que en la curva de $n=4$ (y de forma casi imperceptible, en la de $n=3.5$) aparece una discontinuidad, que significa que hay un estrecho rango de valores de SINR que no se produce. En las gráficas siguientes se aprecia este efecto con mayor claridad:

**Figura 159:** Detalle de las gráficas de la Figura 158.

A continuación, se van a obtener los histogramas de distribución de población de móviles en función de la SINR, para $n=2$ y $n=3$, en las gráficas de la izquierda y derecha siguientes, respectivamente.

Se mostrará la comparativa, de forma correlativa, para el anillo interior, el anillo exterior y la región de cobertura de la *EB0* en su conjunto.

A fin de obtener una buena definición de los histogramas, minimizando la aleatoriedad inherente a la simulación, se considerará un número suficientemente elevado de móviles dentro de la región de cobertura de la célula.

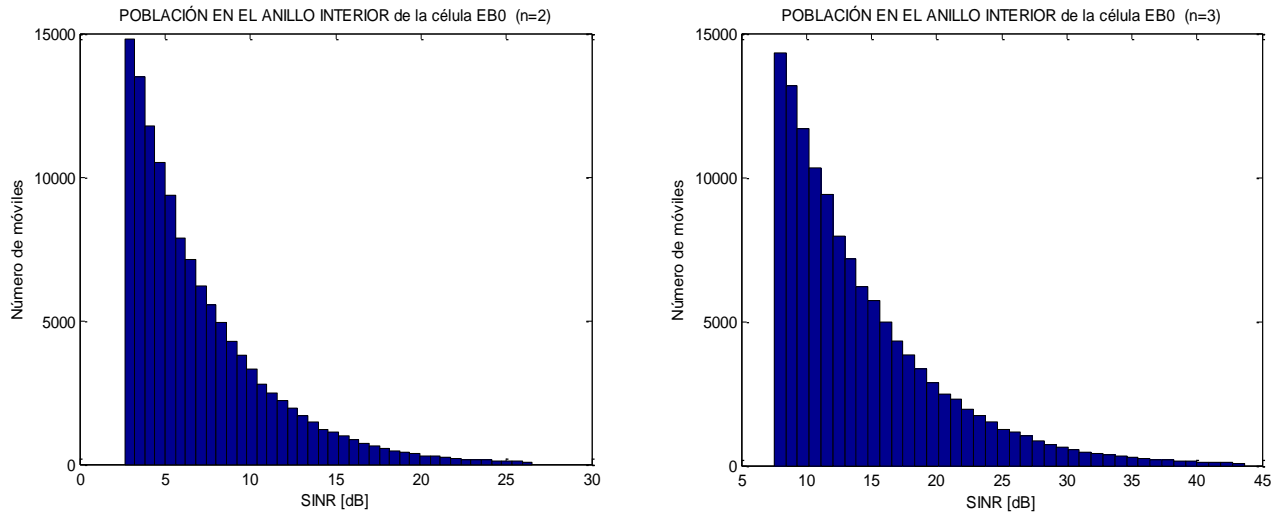


Figura 160:

Distribución de Población, en función de la SINR[dB], en el Anillo Interior de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

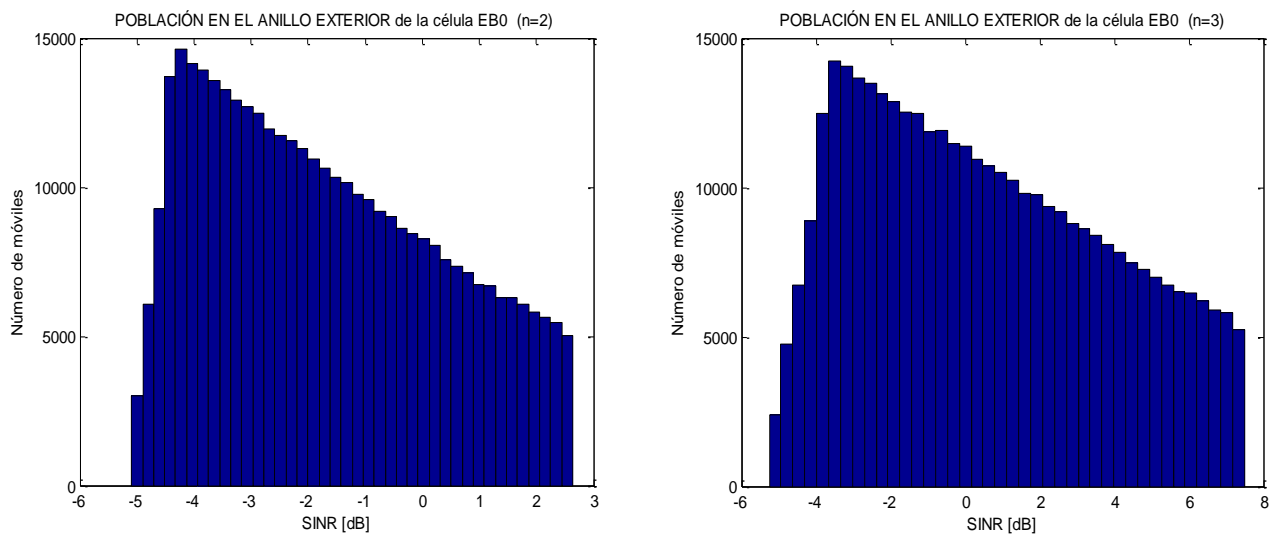
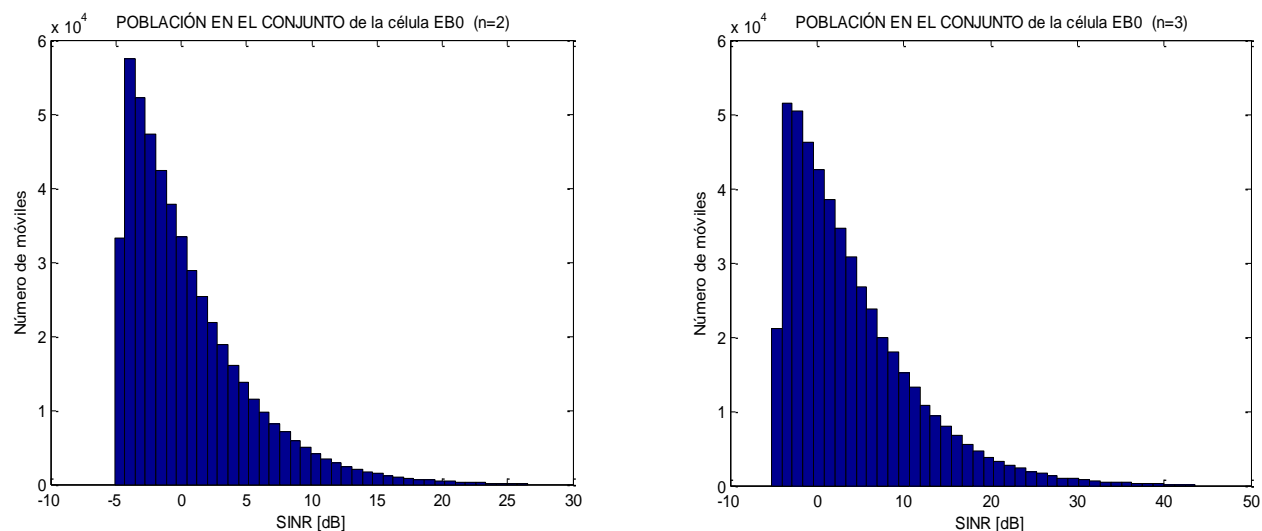


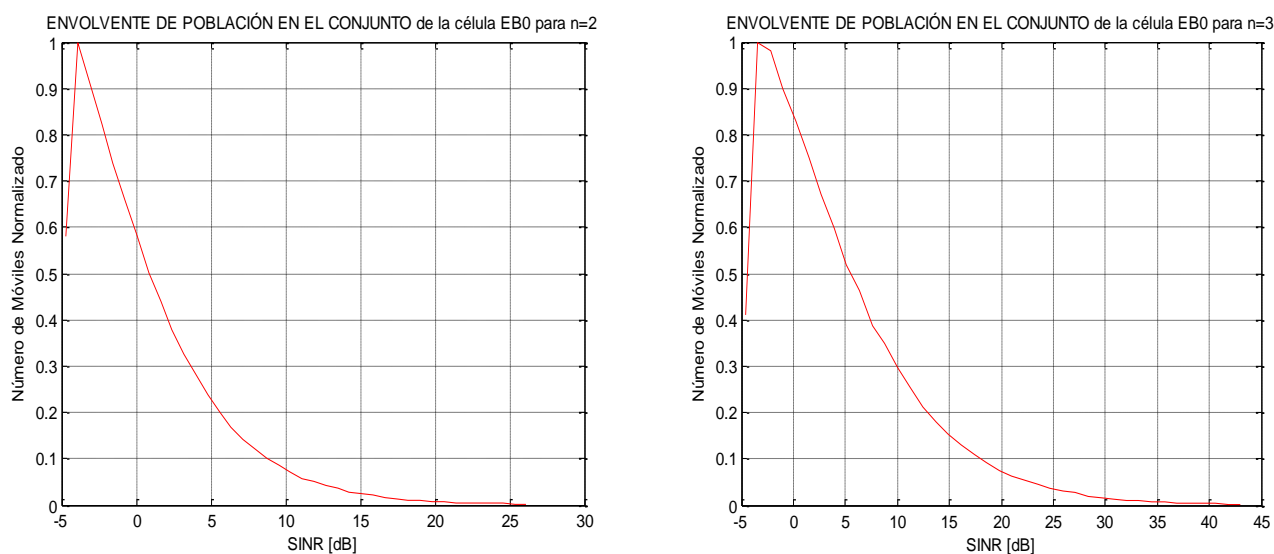
Figura 161:

Distribución de Población, en función de la SINR[dB], en el Anillo Exterior de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

**Figura 162:**

Distribución de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

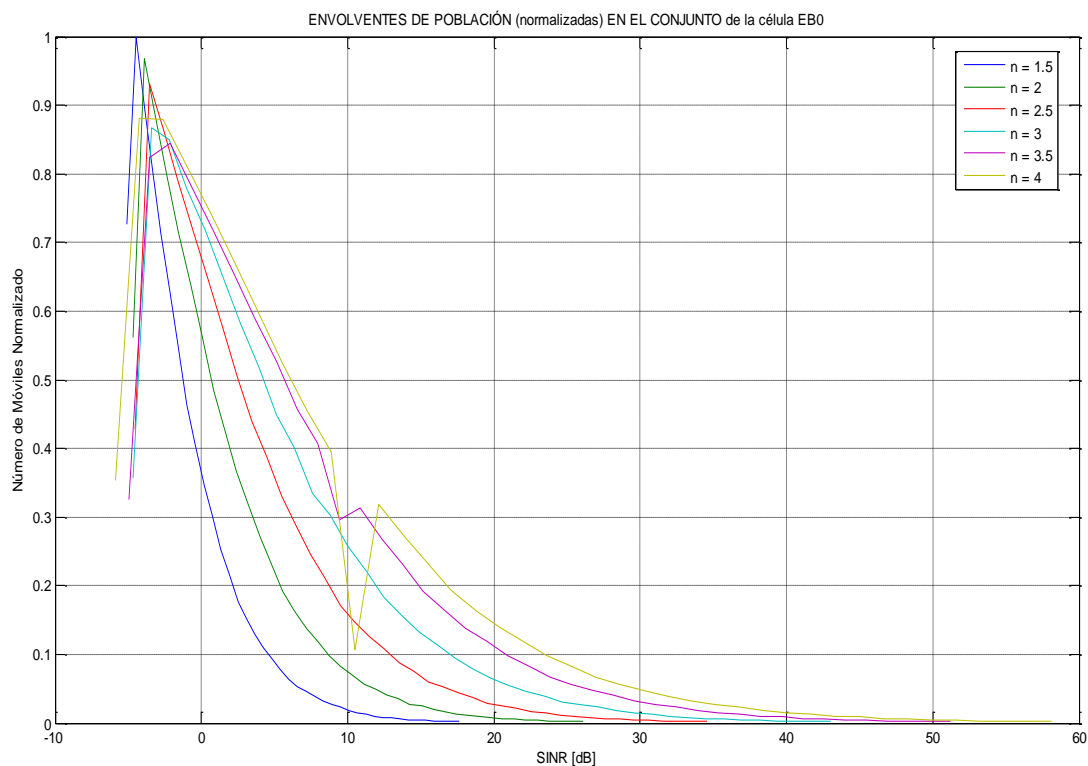
Las gráficas siguientes muestran las envolventes normalizadas de los histogramas de la Figura anterior:

**Figura 163:**

Envolventes de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

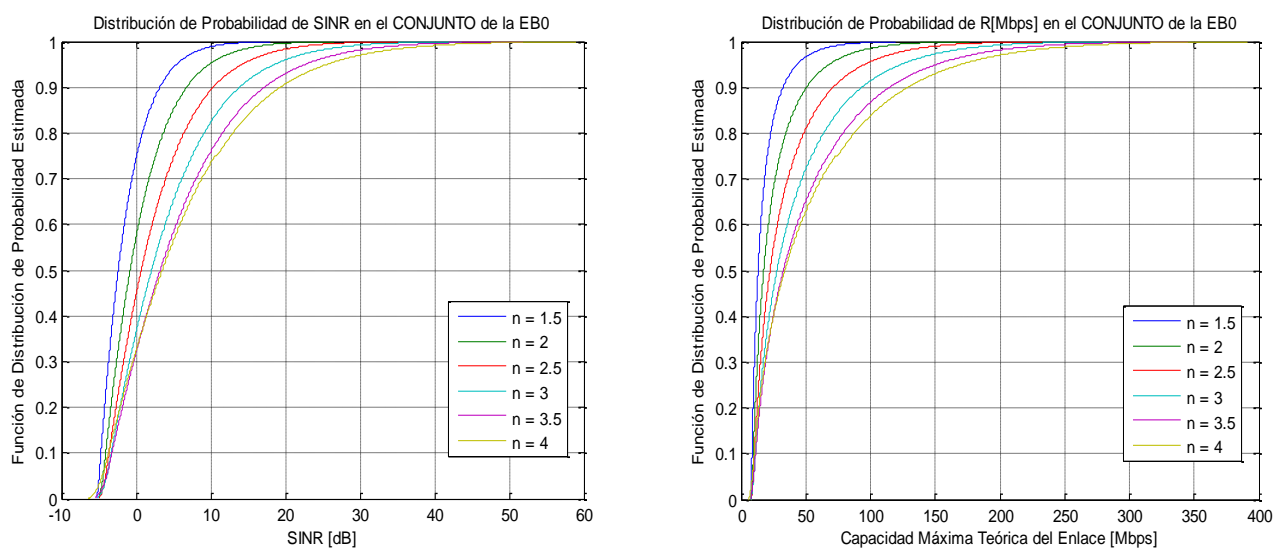
Para comparar la forma de los histogramas de los distintos valores de n , en la página siguiente se representa de forma conjunta las envolventes resultantes.

Como consecuencia del reducido rango de valores que no se producen con $n=4$ (sumamente estrecho con $n=3.5$), comentado anteriormente, se ocasiona una brecha en la envolvente del correspondiente histograma, según puede observarse en la gráfica siguiente.

**Figura 164:**

Envolventes de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EB0*, para los distintos n .

A continuación, se va a repetir la simulación anterior modificando la frecuencia del radiocanal del anillo exterior, pasando de 2600 MHz a 2000 MHz. Resultan las siguientes gráficas, correspondientes a la región de cobertura de la *EB0* en su conjunto:

**Figura 165:** Ídem que en la Fig.158, estrechando la diferencia de frecuencia entre los radiocanales de ambos anillos.

Puede observarse en las gráficas anteriores que, al estrecharse la diferencia de frecuencia entre el radiocanal del anillo interior y el del anillo exterior, la discontinuidad en las curvas de $n=4$ se hace casi imperceptible. A su vez, esto ocasiona que la brecha citada anteriormente casi desaparezca de la envolvente del histograma, según se aprecia en la gráfica siguiente:

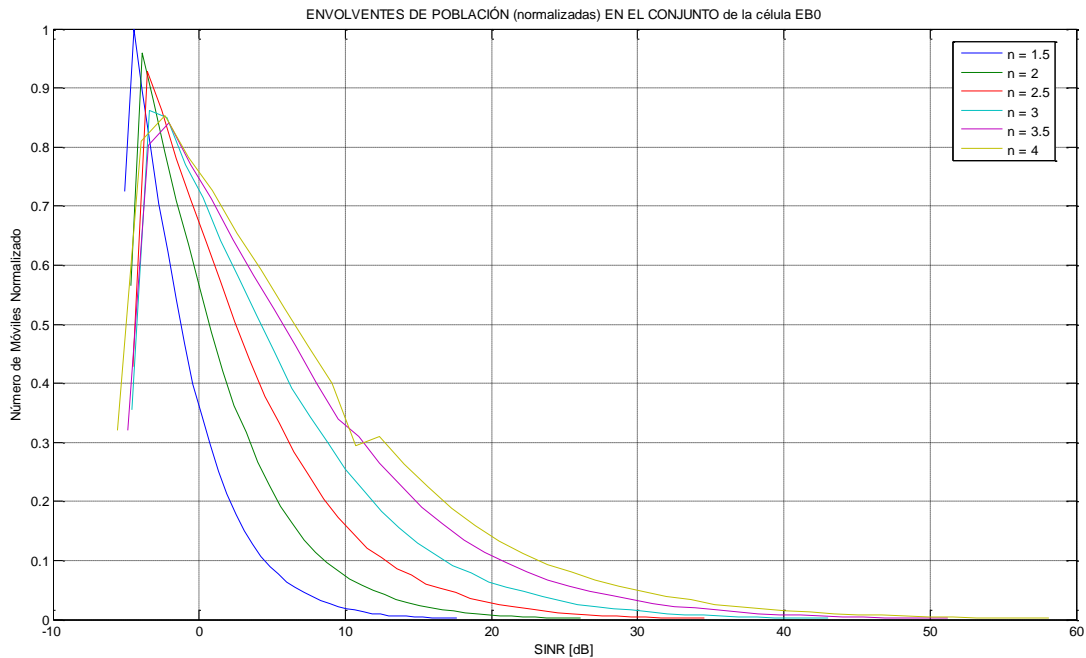


Figura 166:

Ídem que en la Fig. 164, estrechando la diferencia de frecuencia entre los radiocanales de ambos anillos.

b) Reutilización FFR 7+1

Considérese, para su análisis, el escenario FFR siguiente, que emplea ocho radiocanales:

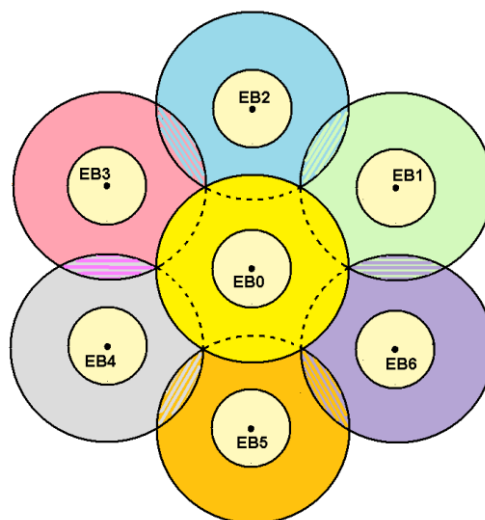


Figura 167: Panal FFR de ocho radiocanales constituido por siete circulares solapadas.

Del mismo modo que en el apartado anterior, se va a hacer el estudio de este escenario considerando la región de cobertura de la *EB0* bajo el modelo de célula circular aislada, es decir, asumiendo que la región de cobertura de su titularidad en el panel viene determinada íntegramente por el radio r de la misma.

De este modo, considerando que el núcleo celular anterior se encuentra aislado, el escenario a estudiar sería el de la figura inferior izquierda:

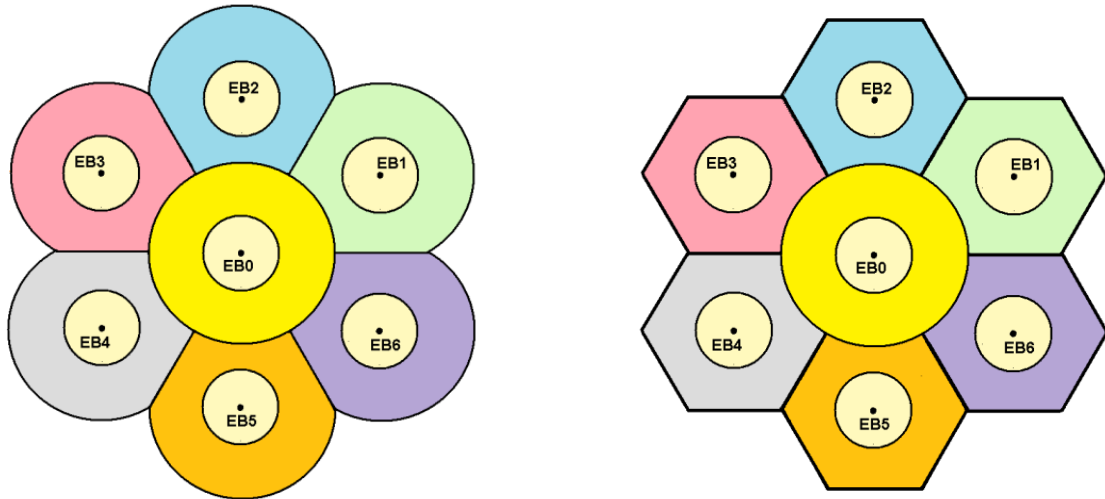


Figura 168: Escenario bajo estudio en el presente apartado.

No obstante, dado que el análisis se va a ceñir a la región de cobertura de la *EB0*, también puede verse este mismo conjunto celular como parte de un panel de red, en el que se ha considerado únicamente el primer anillo celular interferente sobre la región de cobertura de la *EB0*, según se muestra en la figura de la derecha anterior.

En la página siguiente se muestran las curvas de la $CDF(SINR[dB])$ y de la $CDF(R[Mbps])$ del **anillo interior** de la célula *EB0* para distintos valores del coeficiente de pérdidas n , en las figuras de la izquierda y derecha, respectivamente.

Como cabía esperar, las gráficas de Distribución de Probabilidad de SINR y de Capacidad Máxima del Enlace del anillo interior resultan idénticas a las obtenidas en el caso anterior (apartado 2.6.3.1.1.a), salvando la aleatoriedad inherente a cada simulación.

De igual modo, en la página siguiente se muestran las curvas de la $CDF(SINR[dB])$ y de la $CDF(R[Mbps])$ del **anillo exterior** de la célula *EB0* para distintos valores del coeficiente de pérdidas n , en las figuras de la izquierda y derecha, respectivamente.

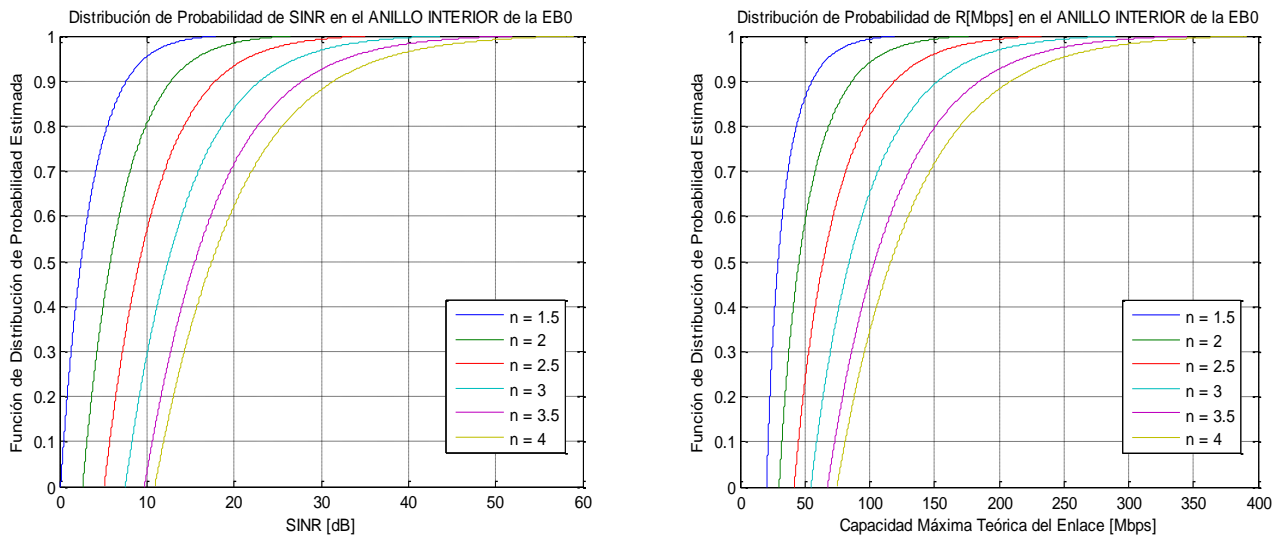


Figura 169: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y de $CDF(R[Mbps])$ en el Anillo Interior de la célula $EB0$.

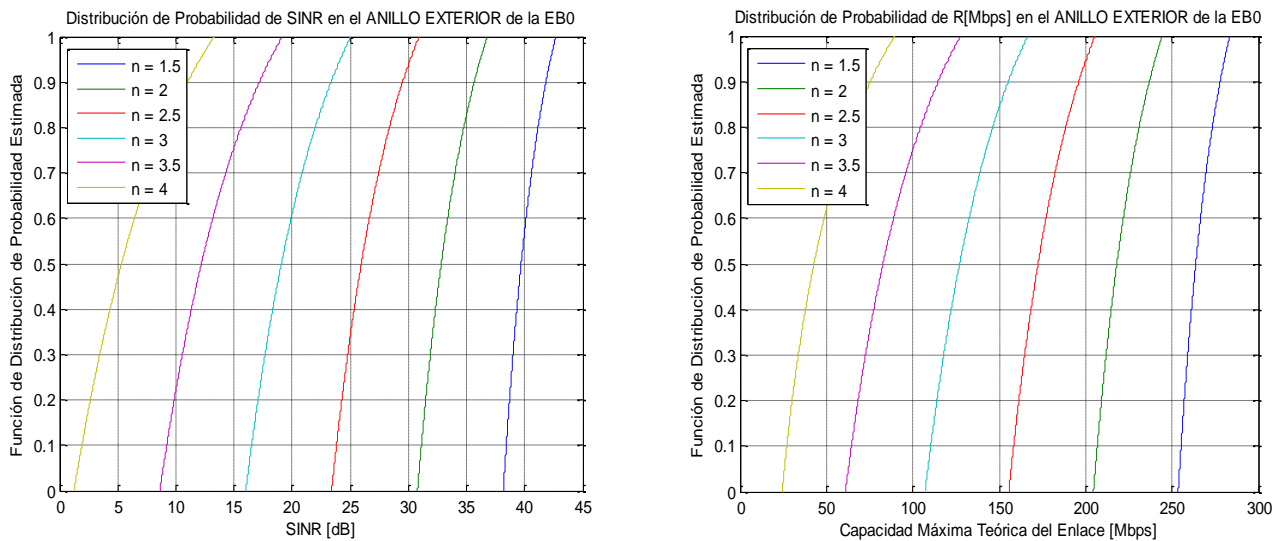
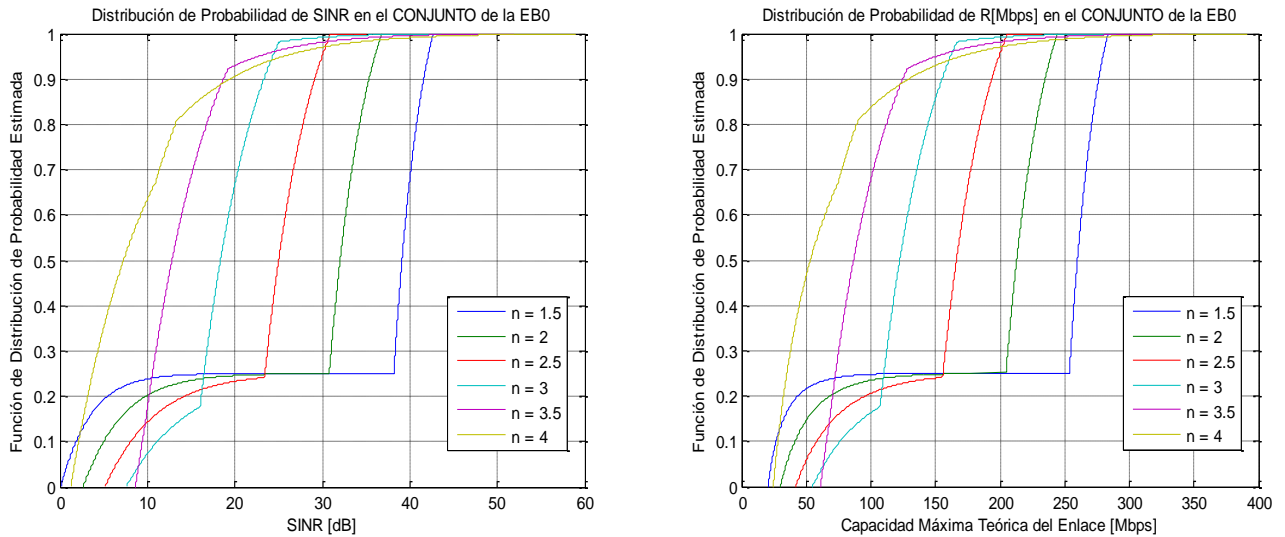


Figura 170: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y de $CDF(R[Mbps])$ en el Anillo Exterior de la célula $EB0$.

Comparando la gráfica anterior de la izquierda con la propia del anillo interior, llama la atención los valores tan elevados de SINR que se producen en las curvas del anillo exterior (especialmente, en las de $n \leq 3$). Este extraño comportamiento será analizado en detalle en el apartado 2.6.3.1.3.

Finalmente, se muestran las curvas de la $CDF(SINR[dB])$ y de la $CDF(R[Mbps])$ de la **región de cobertura de la $EB0$ en su conjunto**, para los distintos valores del coeficiente de pérdidas n , en las figuras de la izquierda y derecha siguientes, respectivamente:

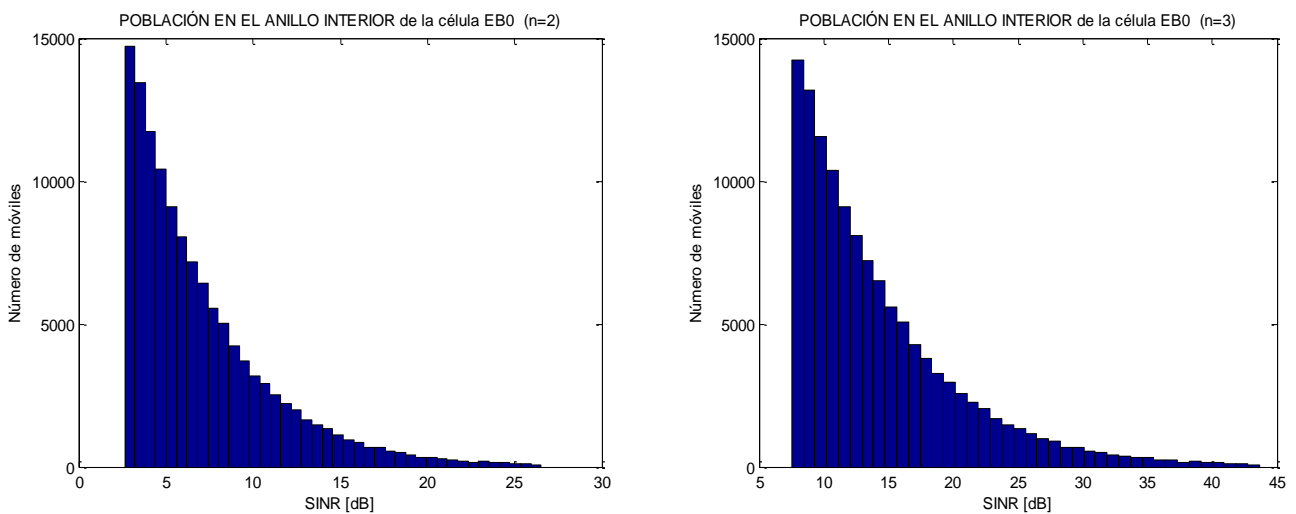
**Figura 171:**

Curvas de $CDF(SINR[db])$ y de $CDF(R[Mbps])$ en el conjunto de la región de cobertura de la célula *EB0*.

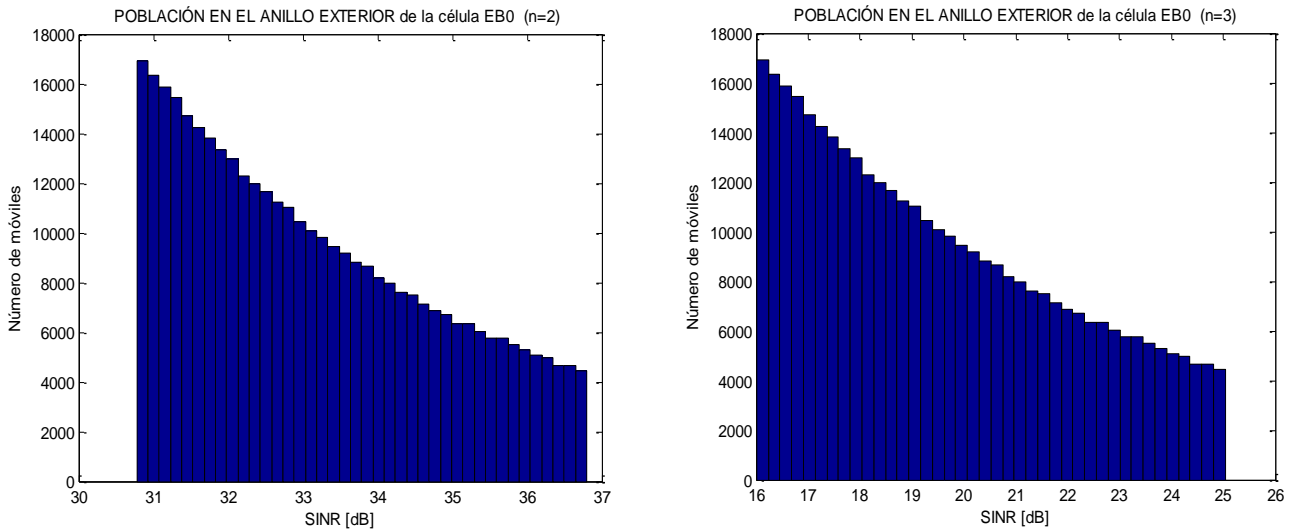
Resulta peculiar la forma de las curvas de CDF resultante para el conjunto de la célula *EB0*. Este curioso fenómeno será analizado también en detalle en el apartado 2.6.3.1.3.

Por otra parte, al igual que se observó en el caso FFR anterior, aparecen discontinuidades, si bien, en este caso, muy acusadas para $n=1.5$ y $n=2$, y bastante menos acentuada para $n=2.5$. Estas discontinuidades se corresponden con un rango de valores de SINR (o de $R[Mbps]$, según el caso) que no se producen. Observando la comparativa siguiente de histogramas, para los casos de $n=2$ (izquierda) y $n=3$ (derecha), se puede comprender más fácilmente cómo tienen lugar.

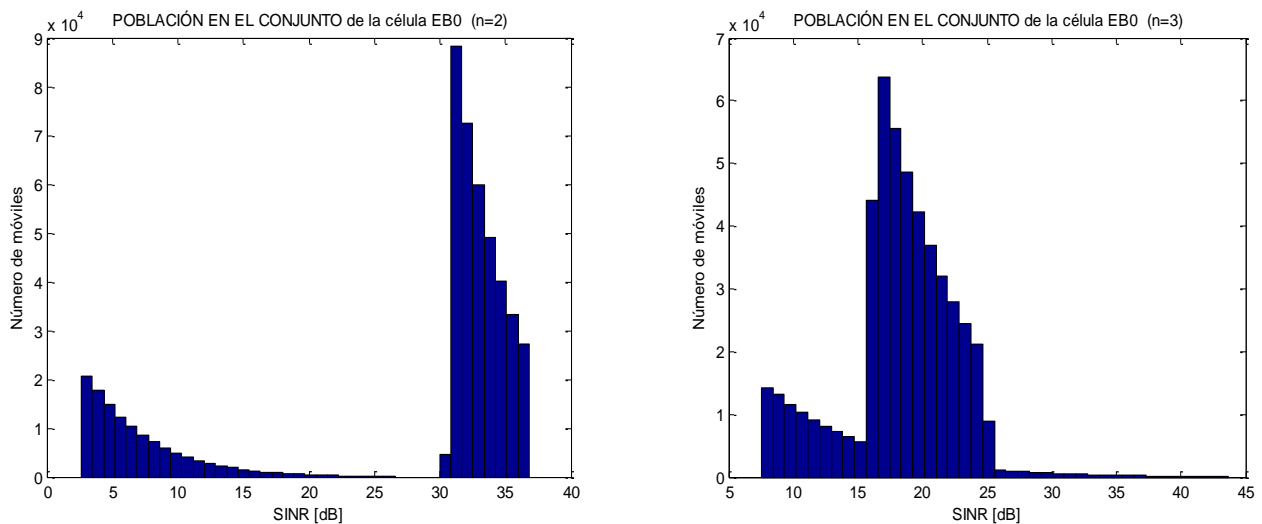
Se realiza la comparativa, de forma correlativa, para el anillo interior, el anillo exterior y la región de cobertura de la *EB0* en su conjunto.

**Figura 172:**

Distribución de Población, en función de la $SINR[db]$, en el Anillo Interior de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

**Figura 173:**

Distribución de Población, en función de la SINR[dB], en el Anillo Exterior de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

**Figura 174:**

Distribución de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

El histograma de la izquierda ($n=2$) muestra un rango de valores de SINR (desde 22.5 dB a 30 dB) que no tienen ocurrencia en la región de cobertura de la célula, correspondiéndose con una discontinuidad muy acusada en la curva correspondiente de la gráfica de la Función de Distribución de Probabilidad Estimada, seguida de un cambio brusco de pendiente, como consecuencia de otro rango de valores de muy alta ocurrencia.

En el histograma de la derecha ($n=3$) no llega a producirse la discontinuidad anterior, aunque sí se observa un cambio muy acusado en la pendiente del histograma para SINR=16 dB, observado también en la correspondiente curva de la gráfica de la Función de Distribución de Probabilidad Estimada.

Las gráficas siguientes muestran las envolventes normalizadas de los histogramas de la Fig. 174:

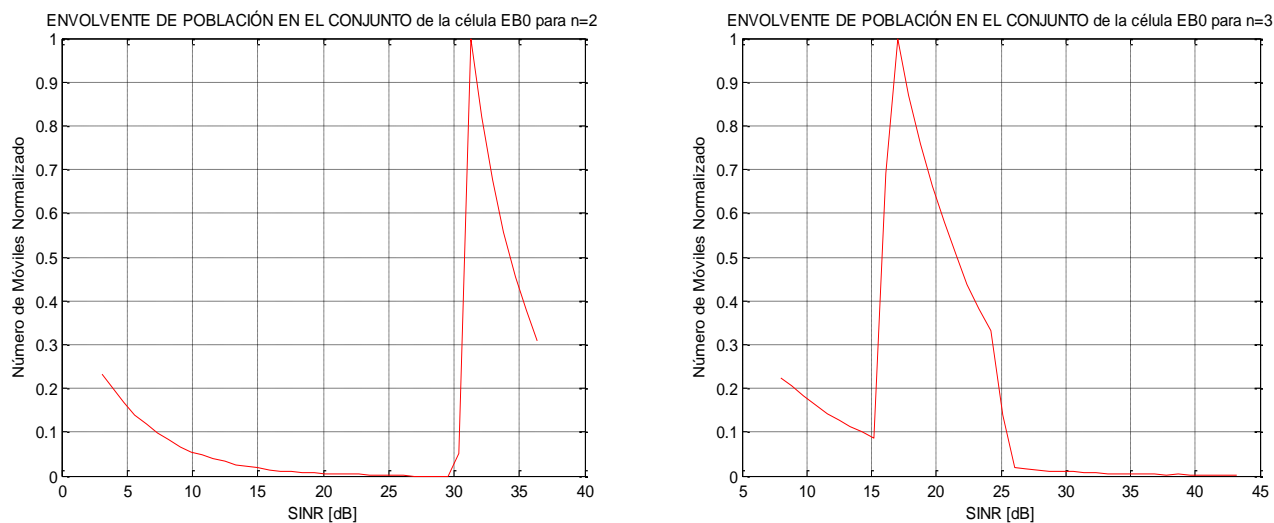


Figura 175:

Envolventes de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

Para comparar la forma de los histogramas de los distintos valores de n , se representa de forma conjunta las envolventes resultantes:

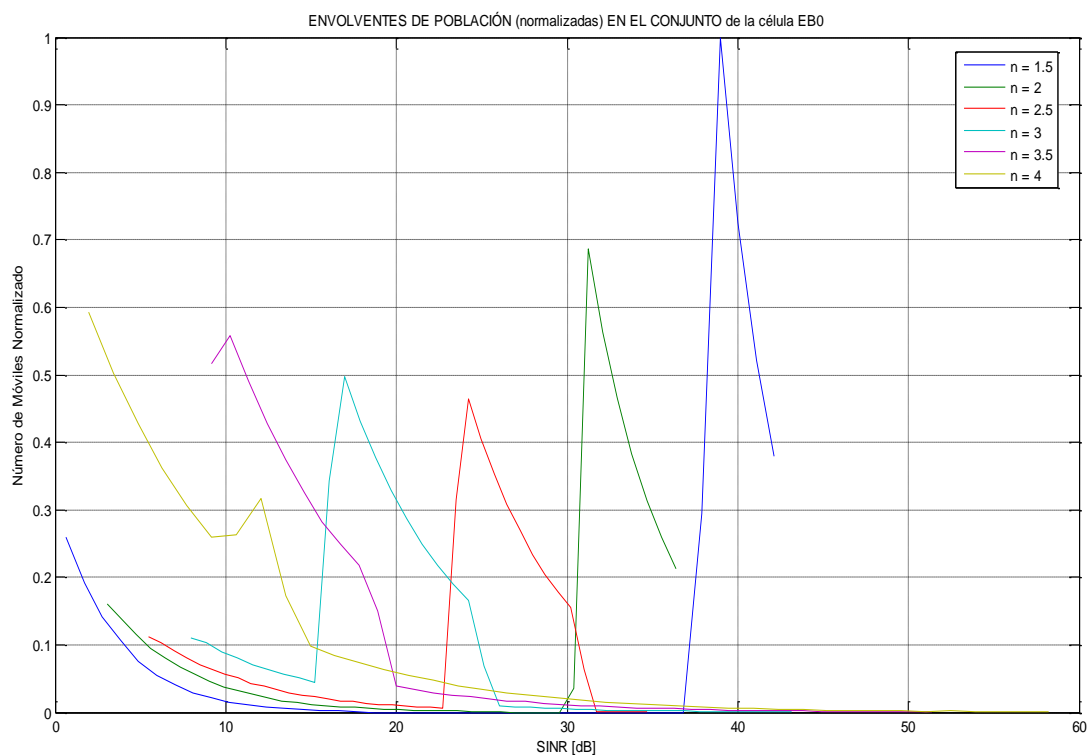


Figura 176:

Envolventes de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EB0*, para los distintos n .

Se significa que, en todo momento, el ancho de banda del radiocanal empleado ha sido de 20 MHz²⁹. Esto supone que en el caso bibanda anterior (apartado 2.6.3.1.1.a) el ancho de banda de red empleado por el núcleo celular es de 40 MHz, frente a este caso, en el que resulta ser de 160 MHz.

Por consiguiente, aunque el análisis realizado sea consistente desde el punto de vista de la evaluación de la SINR en la región de cobertura, para un determinado ancho de banda de trabajo del radiocanal, no es ecuánime desde el punto de vista de la asignación de recursos de red.

2.6.3.1.2. Región de Cobertura Hexagonal Regular

a) Reutilización FFR Bibanda

A continuación, se va a realizar el mismo análisis del apartado 2.6.3.1.1.a, pero considerando que la titularidad de la cobertura en la región del panal se dirime en favor de la Estación Base más cercana, es decir, considerando región de cobertura de la *EB0* hexagonal regular.

De este modo, considerando que el núcleo celular se encuentra aislado, el escenario a estudiar sería el de la figura inferior izquierda:

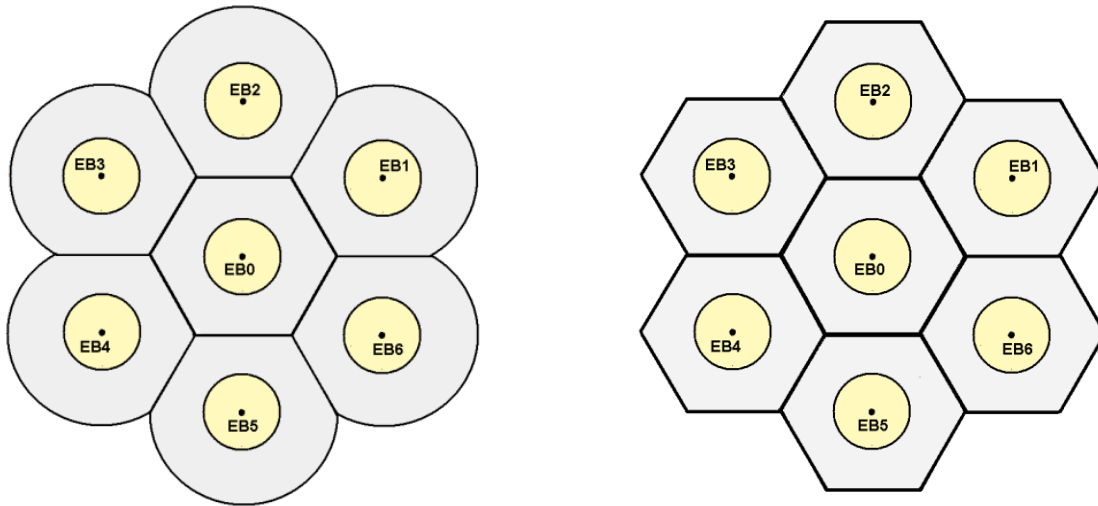


Figura 177: Escenario bajo estudio en el presente apartado.

No obstante, dado que el análisis se va a ceñir a la región de cobertura de la *EB0*, también puede verse este mismo conjunto celular como parte de un panal de red, en el que se ha considerado únicamente el primer anillo celular interferente sobre la región de cobertura de la *EB0*, según se muestra en la figura de la derecha anterior.

²⁹ En las simulaciones se asimila al ancho de banda equivalente de ruido del receptor del terminal móvil.

En este escenario se verifica que:

$$\text{Para el anillo interior: } d2_{min} = d3_{min} = \sqrt{3} \cdot r - \frac{r}{2} \approx 1.232 r$$

$$\text{Para el anillo exterior: } d2_{min} = d3_{min} = r \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} r \approx 0.866 r$$

Nótese que este escenario consigue aumentar significativamente el $d2_{min}$ y $d3_{min}$ del anillo interior de la región de cobertura de la $EB0$, respecto del escenario que empleaba el mismo radiocanal en todas las células, con el que se comenzaba el apartado 2.6.

De forma análoga a los apartados anteriores, se muestra la comparativa sucesiva de curvas de CDF del anillo interior, el borde exterior y la región de cobertura completa de la célula $EB0$.

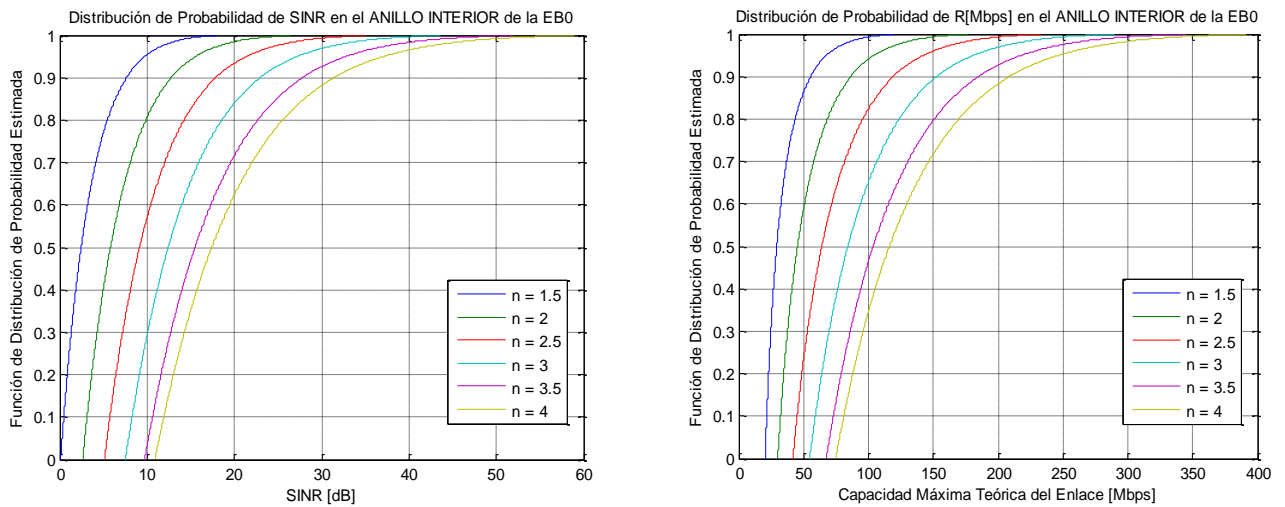


Figura 178: Curvas de CDF($SINR[dB]$) y de CDF($R[Mbps]$) en el Anillo Interior de la célula $EB0$.

Como cabía esperar, las gráficas de CDF del anillo interior resultan prácticamente idénticas a las obtenidas en el caso en que la región de cobertura de la $EB0$ venía modelada como una célula circular aislada (apartado 2.6.3.1.1.), salvando la aleatoriedad inherente a cada simulación.

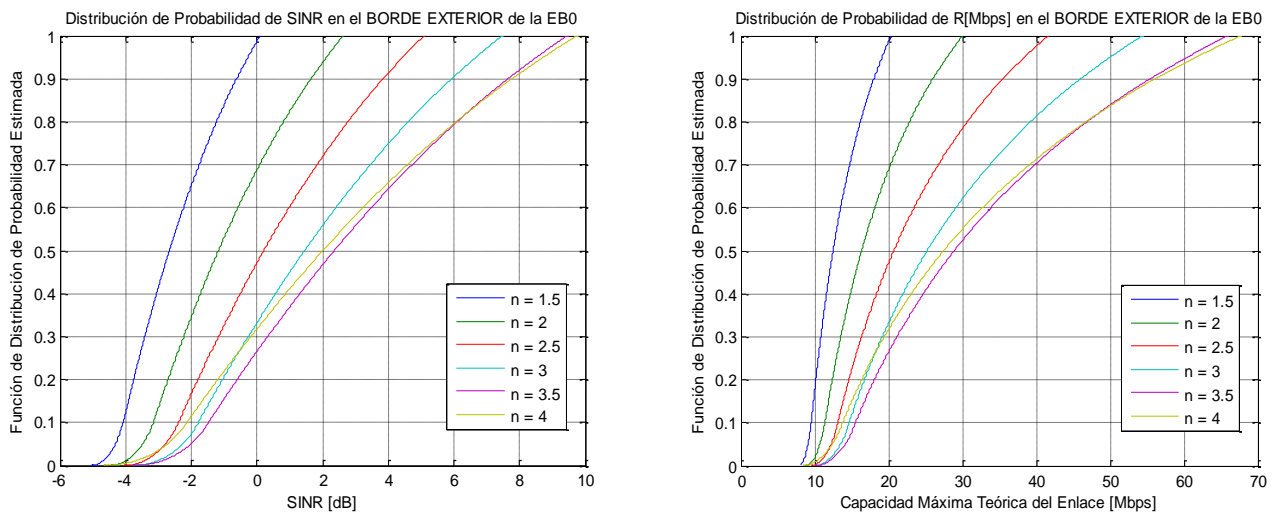


Figura 179: Curvas de CDF($SINR[dB]$) y de CDF($R[Mbps]$) en el Borde Exterior de la célula $EB0$.

El efecto de la forma hexagonal regular de la célula EB0, con respecto al caso en que su región de cobertura se modeló como célula circular aislada (apartado 2.6.3.1.1.a), se traduce en que ahora las curvas de la Función de Distribución de Probabilidad Estimada arrancan desde valores algo mayores, siendo este efecto más acusado para los valores elevados de n .

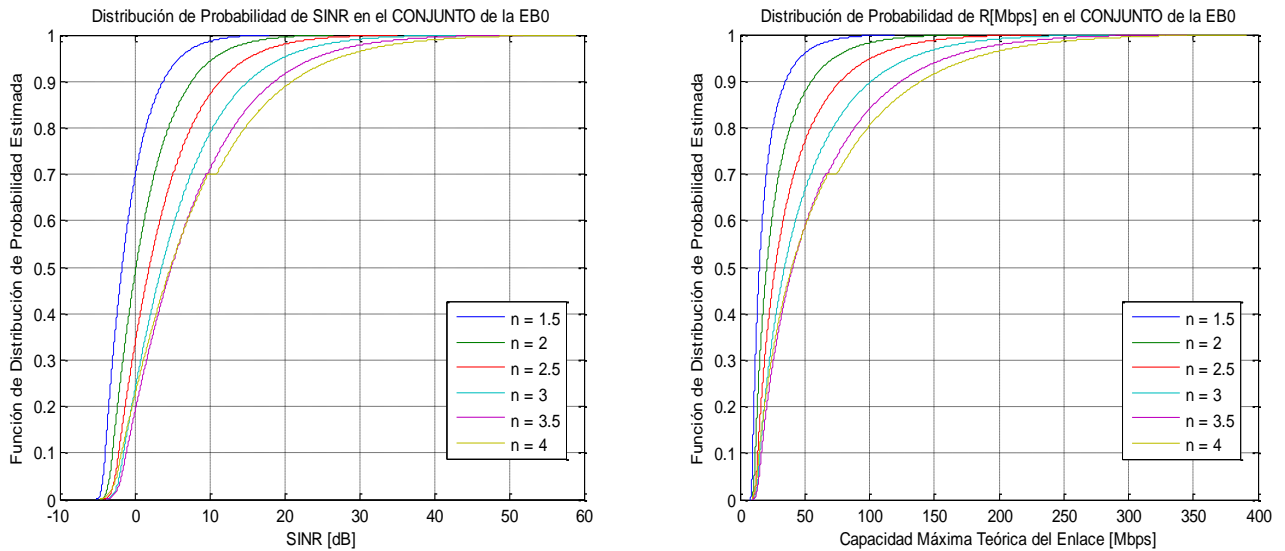


Figura 180:

Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y de $CDF(R[Mbps])$ en el conjunto de la región de cobertura de la célula EB0.

Se muestra, a continuación, la comparativa correlativa de histogramas del anillo interior, el anillo exterior y la región de cobertura de la EB0, en su conjunto, para los casos de $n=2$ (izquierda) y $n=3$ (derecha).

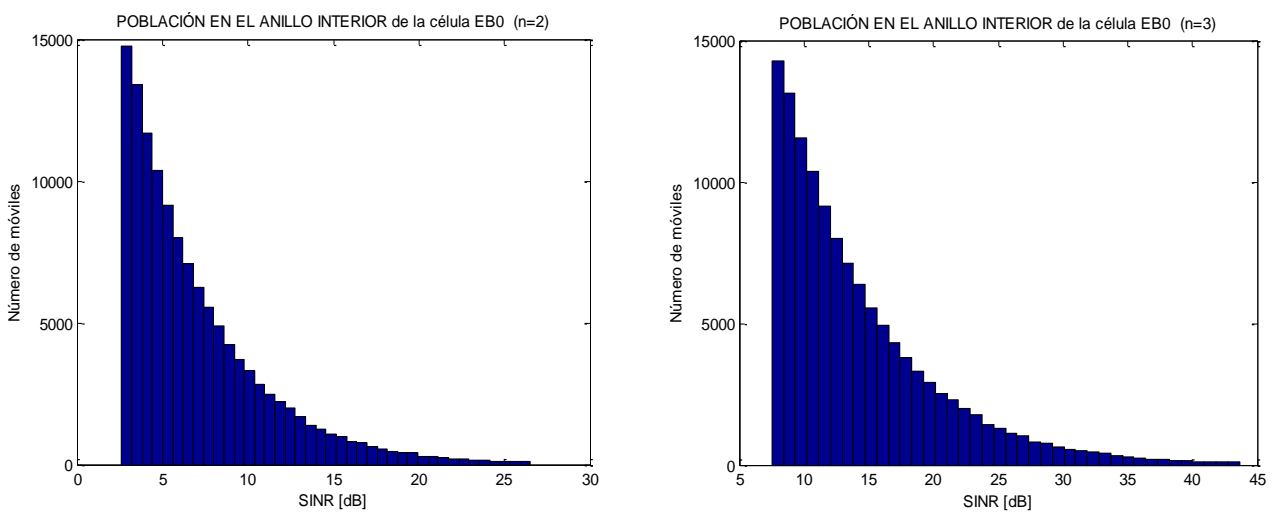
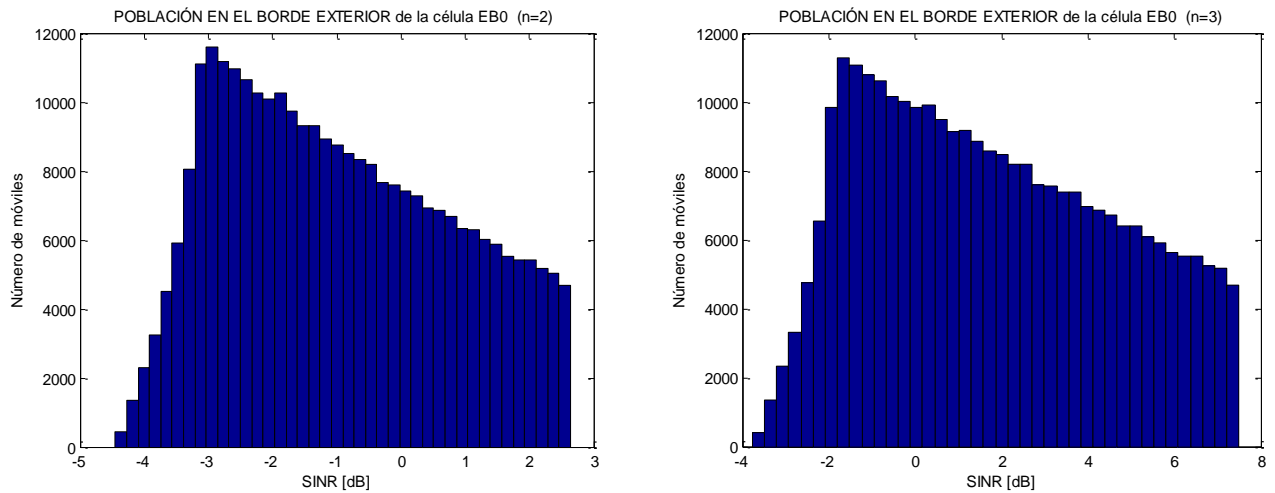


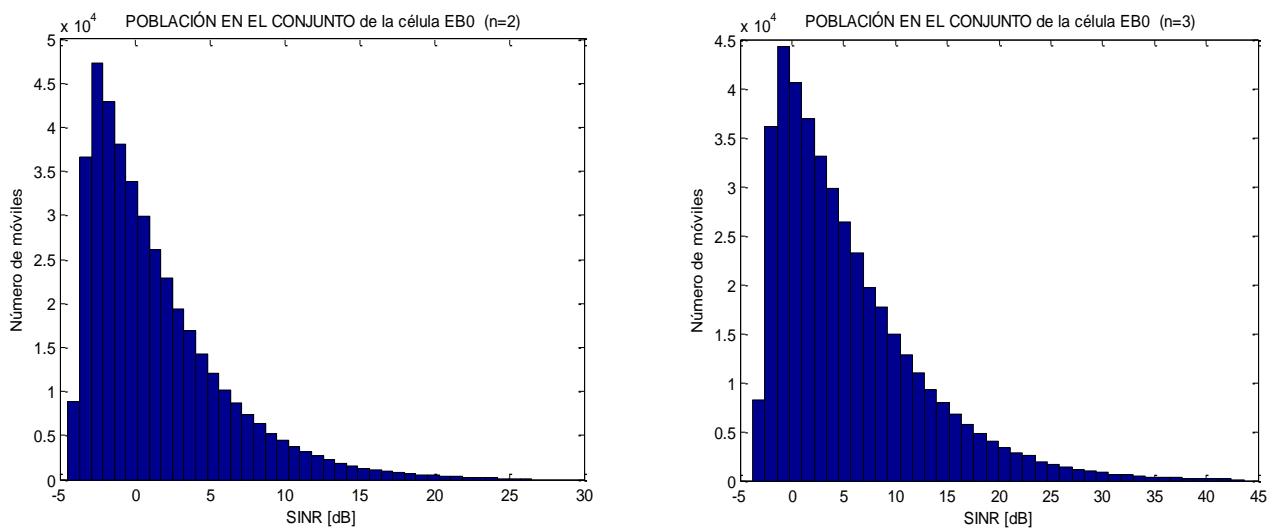
Figura 181:

Distribución de Población, en función de la SINR[dB], en el Anillo Interior de la célula EB0, para $n=2$ y $n=3$.

**Figura 182:**

Distribución de Población, en función de la SINR[dB], en el Borde Exterior de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

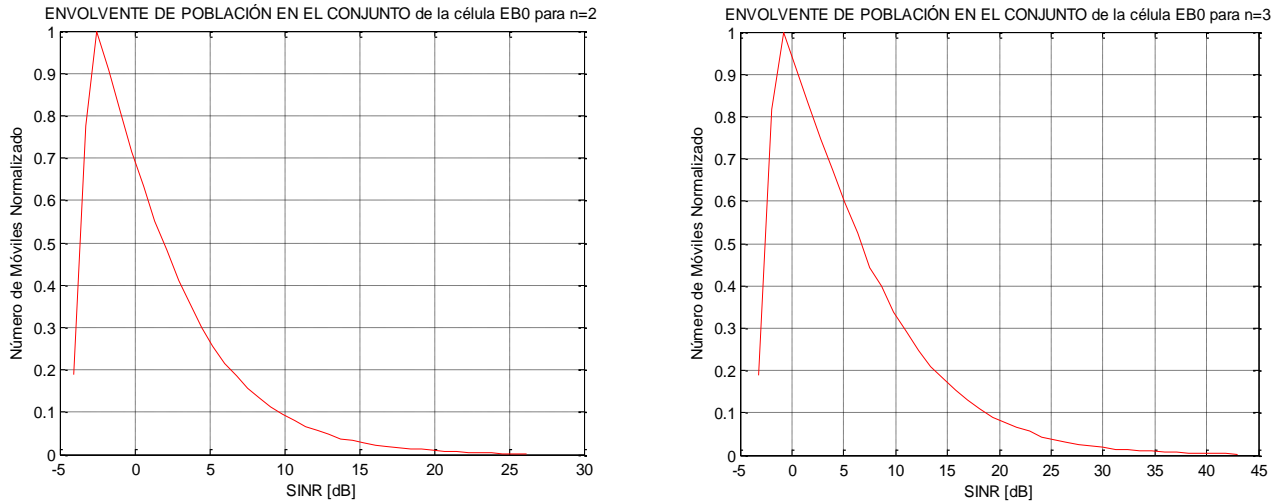
Comparando estos histogramas con los obtenidos en el caso en que la región de cobertura de la *EB0* se modelaba como célula circular aislada, en lugar de hexagonal regular, puede apreciarse que en éstos últimos la pendiente de la izquierda (correspondiente a los puntos de menor SINR) se suaviza, especialmente en su parte inferior.

**Figura 183:**

Distribución de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

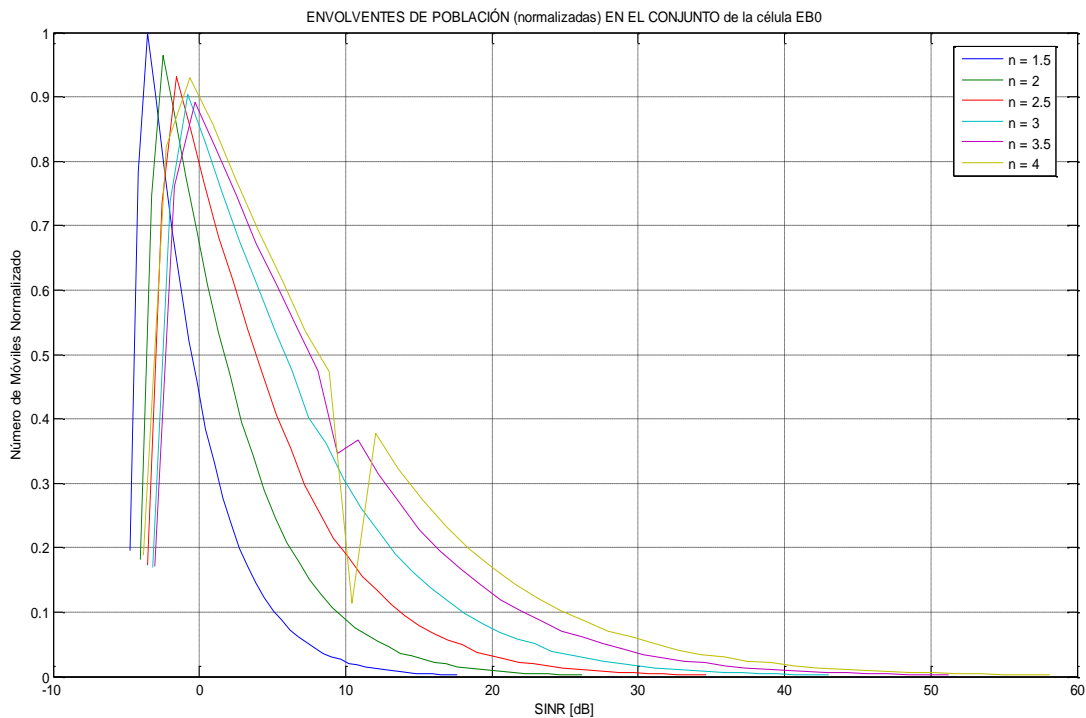
Como consecuencia de lo anterior, se observa que ahora en el histograma de la célula completa aparece una barra más en la pendiente de la izquierda, con respecto al caso en que la región de cobertura de la *EB0* se modelaba como célula circular aislada.

Las gráficas siguientes muestran las envolventes normalizadas de los histogramas de la Fig. 183:

**Figura 184**

Envoltentes de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

Para comparar la forma de los histogramas de los distintos valores de n , se representa de forma conjunta las envoltentes resultantes:

**Figura 185:**

Envoltentes de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EB0*, para los distintos n .

Como consecuencia de la existencia de un reducido rango de valores de SINR que no tienen ocurrencia con $n=4$ (sumamente estrecho con $n=3.5$), apreciado como una discontinuidad en las curvas de la Función de Distribución de Probabilidad Estimada de la célula completa, se ocasiona una brecha en la envoltente del correspondiente histograma, según puede observarse en

la gráfica anterior, del mismo modo que sucedía en el caso en que la región de cobertura de la *EB0* se modelaba como célula circular aislada.

A fin de ilustrar en detalle cómo se produce esta deformación de la envolvente del histograma, se muestran a continuación los histogramas de $n=4$ de las dos regiones de cobertura de la célula *EB0* (anillo interior y borde exterior) y el histograma resultante de su composición.

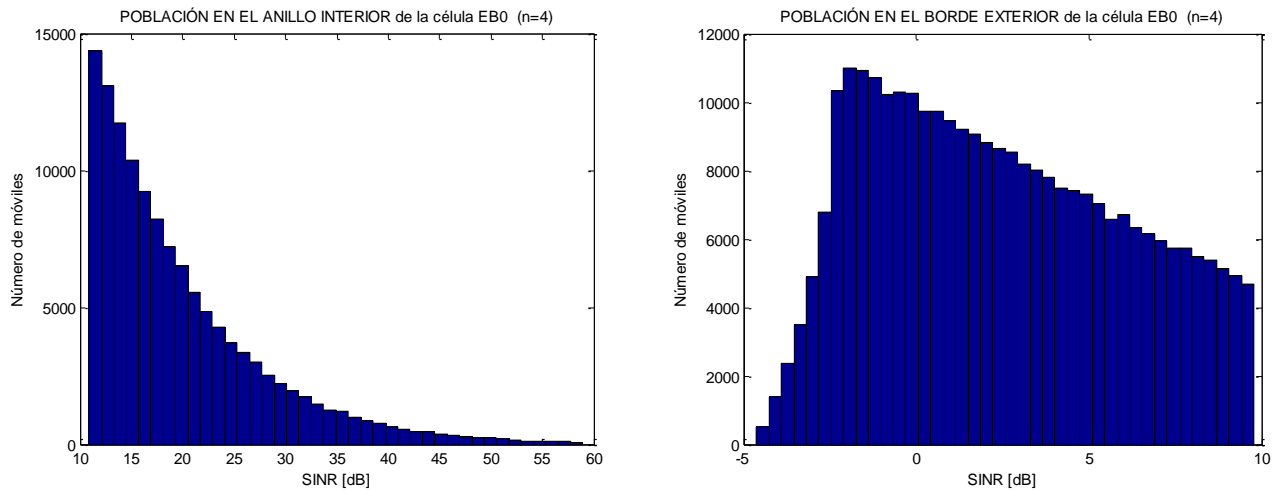


Figura 186:

Distribución de Población, en función de la SINR, del anillo interior y el borde exterior de la célula *EB0*, para $n=4$.

Aunque la forma de los histogramas parciales es muy similar a la de los casos anteriores ($n=2$ y $n=3$), hay que tener en cuenta que ahora el histograma del anillo interior (gráfica anterior izquierda) aparece más desplazada hacia la derecha, de tal modo que no hay solape de ninguno de sus valores de SINR con los del histograma del borde exterior (gráfica derecha), apreciándose entre ambos un reducido rango de valores, en torno a 10 dB, que no tienen ocurrencia. Esto explica la caída de amplitud, en torno a dicho valor, en el histograma conjunto, según se aprecia en las gráficas siguientes:

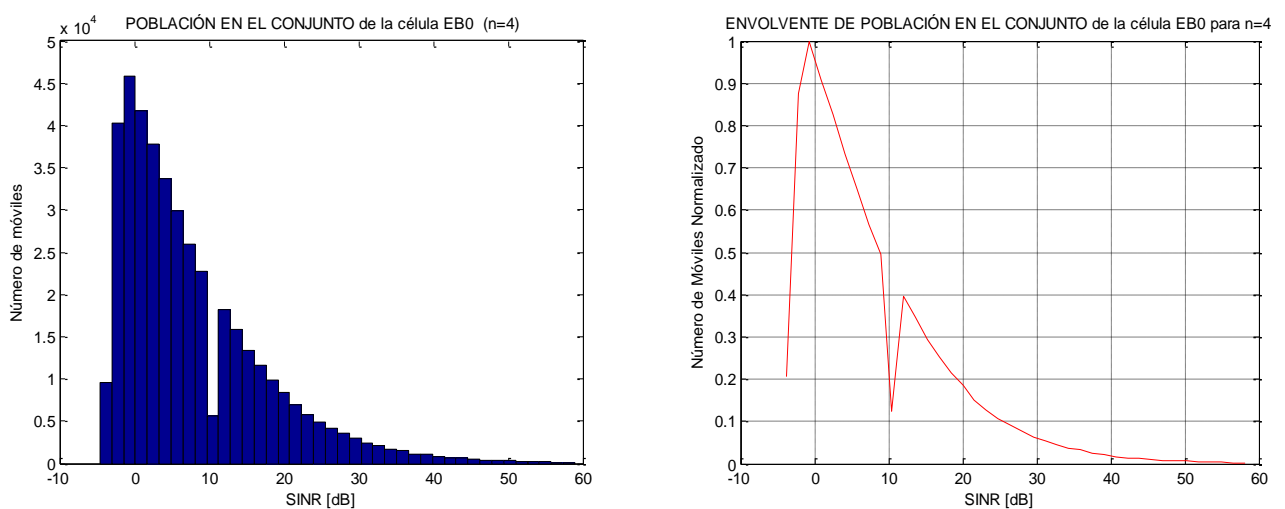


Figura 187:

Distribución y Envolvente de Población, en función de la SINR[dB], de la célula *EB0* completa, para $n=4$.

b) Reutilización FFR 7+1

De forma análoga al caso bibanda anterior, a continuación se va a realizar el mismo análisis del apartado 2.6.3.1.1.b, pero considerando que la titularidad de la cobertura en la región del panel se dirige en favor de la Estación Base más cercana, es decir, considerando región de cobertura de la *EB0* hexagonal regular.

De este modo, considerando que el núcleo celular se encuentra aislado, el escenario a estudiar sería el de la figura inferior izquierda:

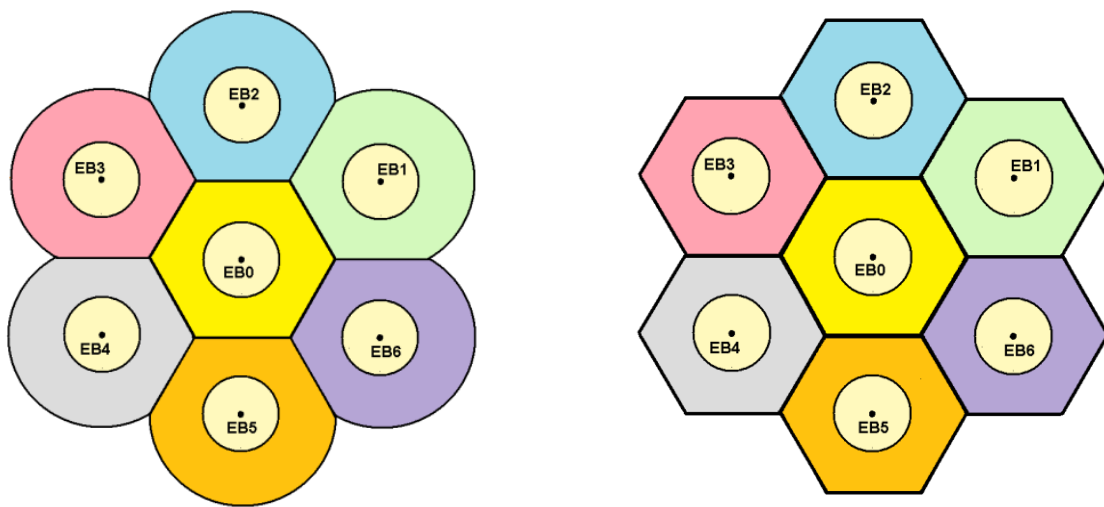


Figura 188: Escenario bajo estudio en el presente apartado.

No obstante, dado que el análisis se va a ceñir a la región de cobertura de la *EB0*, también puede verse este mismo conjunto celular como parte de un panel de red, en el que se ha considerado únicamente el primer anillo celular interferente sobre la región de cobertura de la *EB0*, según se muestra en la figura de la derecha anterior.

En este escenario se verifica que:

$$\text{Para el anillo interior: } d2_{min} = d3_{min} = \sqrt{3} \cdot r - \frac{r}{2} \approx 1.232 r$$

$$\text{Para el anillo exterior: } d2_{min} = d3_{min} = \infty$$

Salvando las consideraciones de ancho de banda de red, el escenario mostrado en la figura anterior, a efectos de interferencia sobre la región de cobertura de la *EB0*, sería similar a éste:

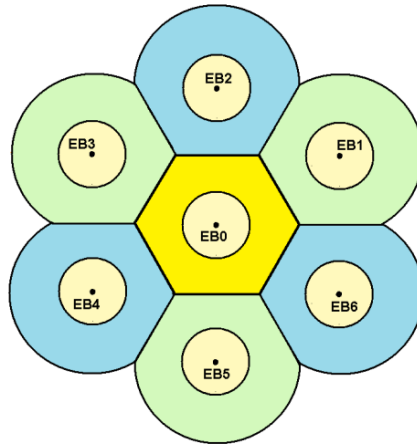


Figura 189: Escenario similar al de la Fig. 188, a efectos de interferencia en la célula EB0.

De forma análoga a los apartados anteriores, se muestra la comparativa sucesiva de CDF e histogramas del anillo interior, el borde exterior y la región de cobertura completa de la EB0.

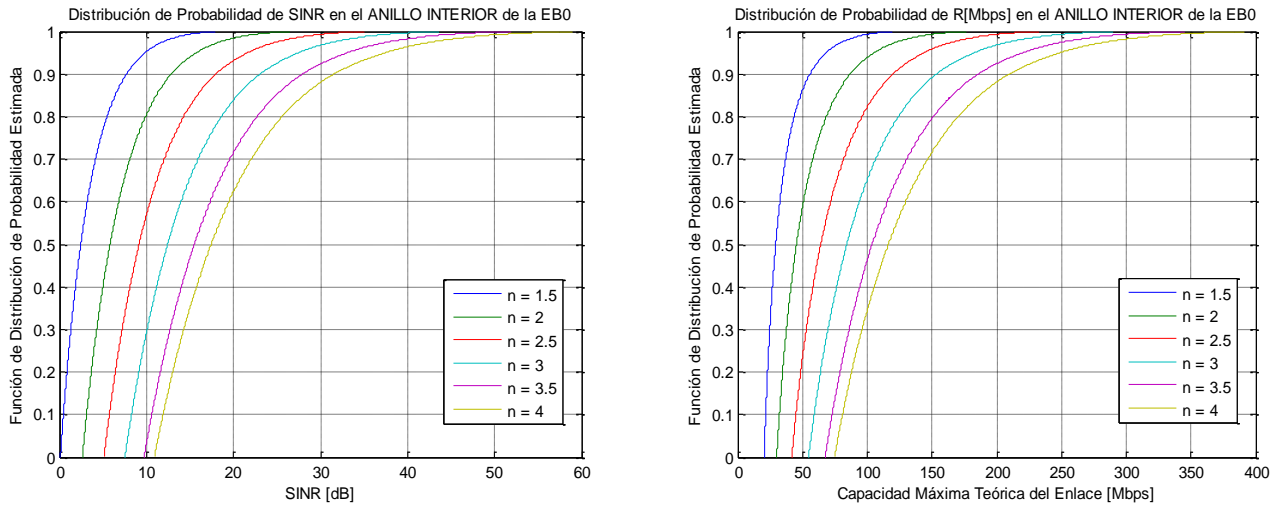


Figura 190: Curvas de CDF($SINR[dB]$) y de CDF($R[Mbps]$) en el Anillo Interior de la célula EB0.

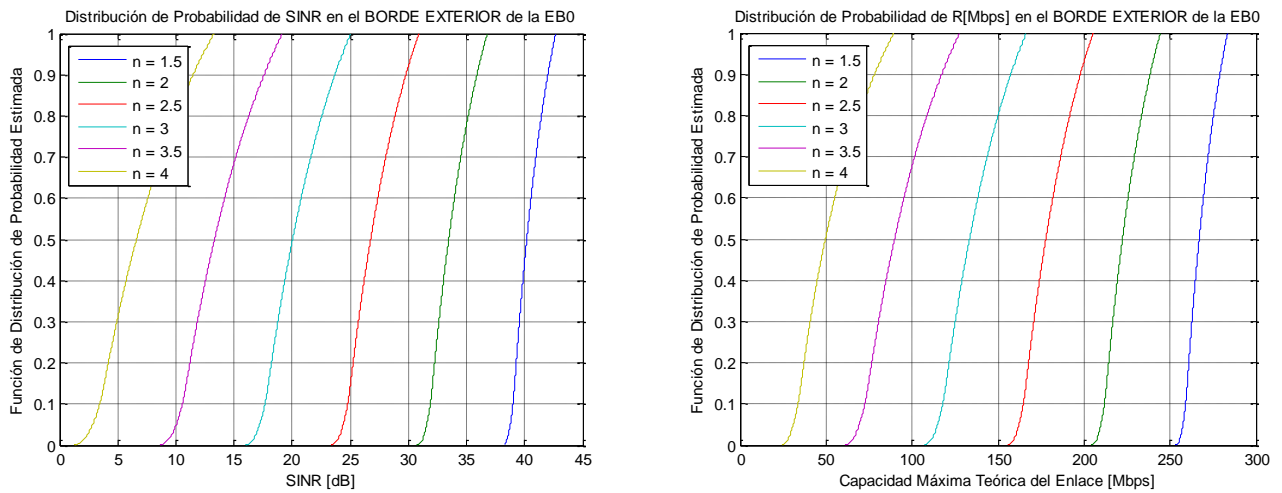
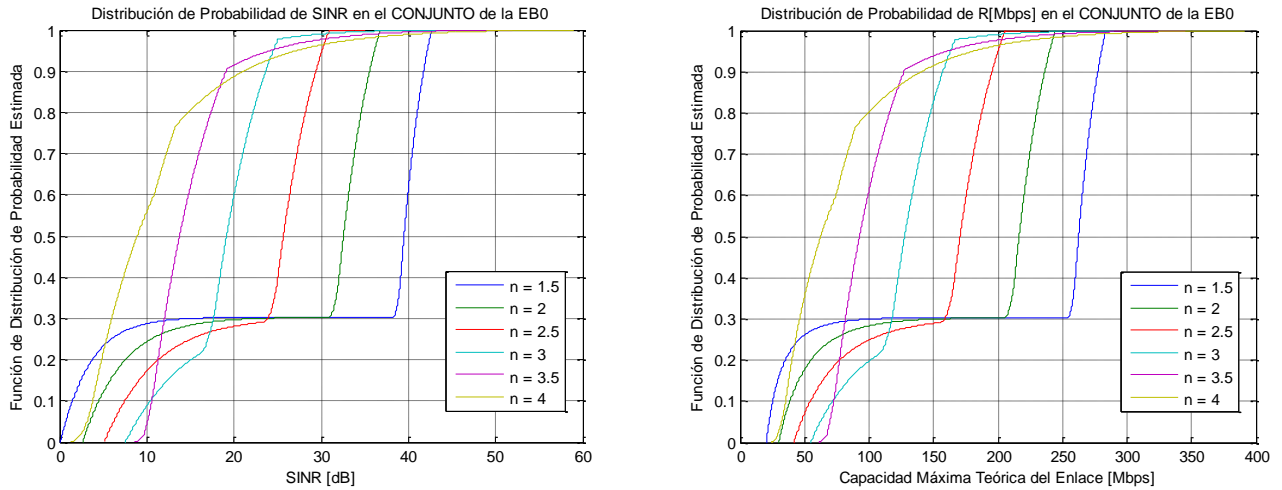
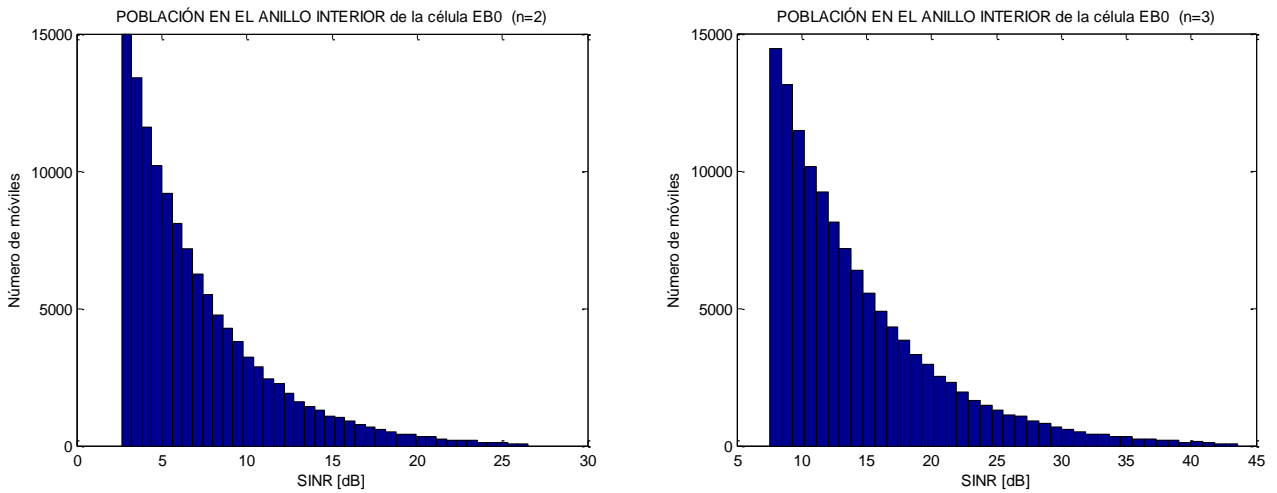


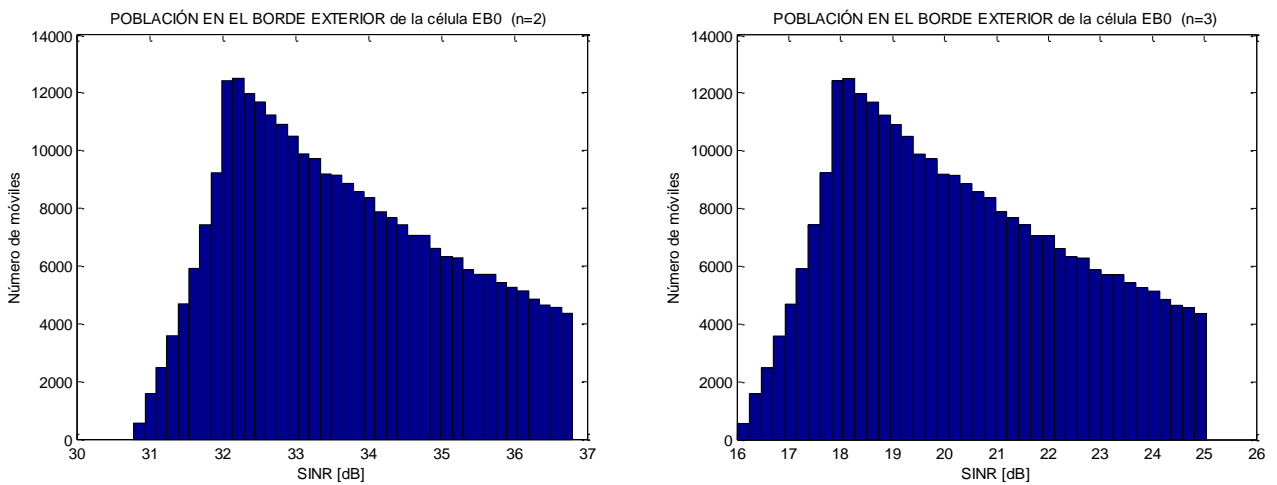
Figura 191: Curvas de CDF($SINR[dB]$) y de CDF($R[Mbps]$) en el Borde Exterior de la célula EB0.

**Figura 192:**

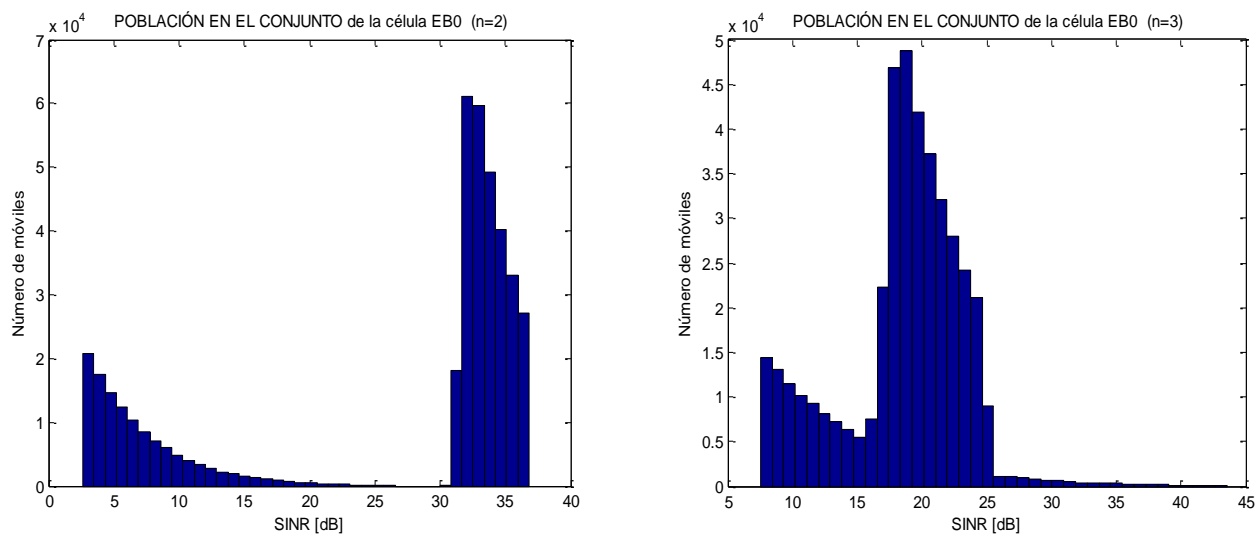
Curvas de $CDF(SINR[db])$ y de $CDF(R[Mbps])$ en el conjunto de la región de cobertura de la célula *EB0*.

**Figura 193:**

Distribución de Población, en función de la $SINR[db]$, en el Anillo Interior de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

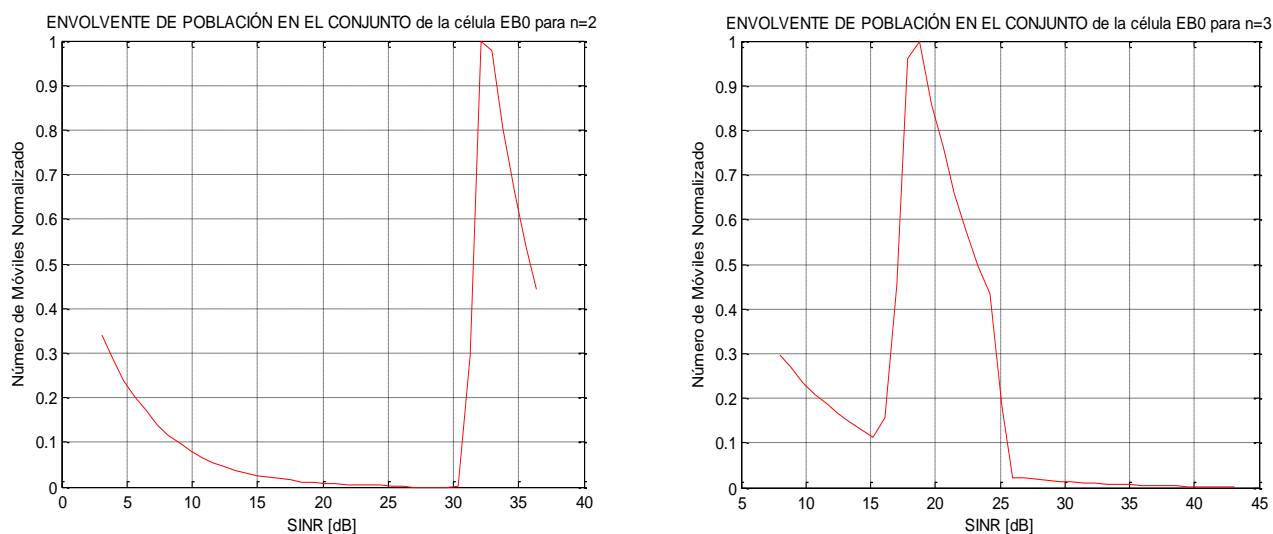
**Figura 194:**

Distribución de Población, en función de la $SINR[db]$, en el Borde Exterior de la célula *EB0*, para $n=2$ y $n=3$.

**Figura 195:**

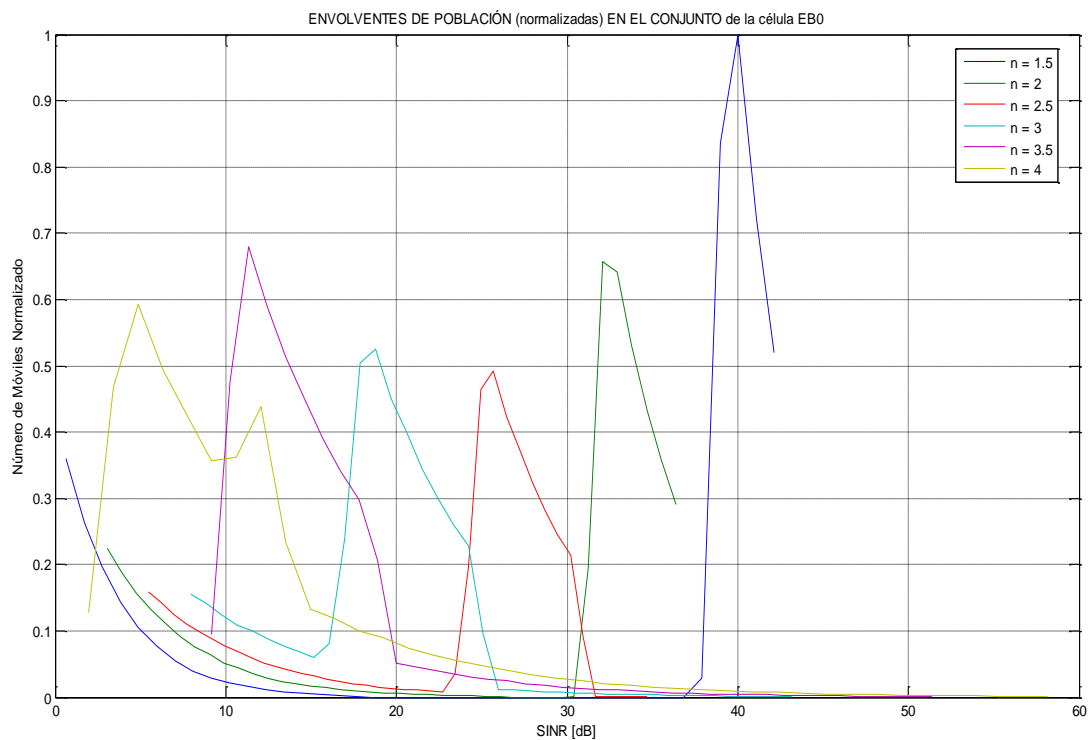
Distribución de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EBO*, para $n=2$ y $n=3$.

Las gráficas siguientes muestran las envolventes normalizadas de los histogramas de la Fig. 195:

**Figura 196:**

Envolventes de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EBO*, para $n=2$ y $n=3$.

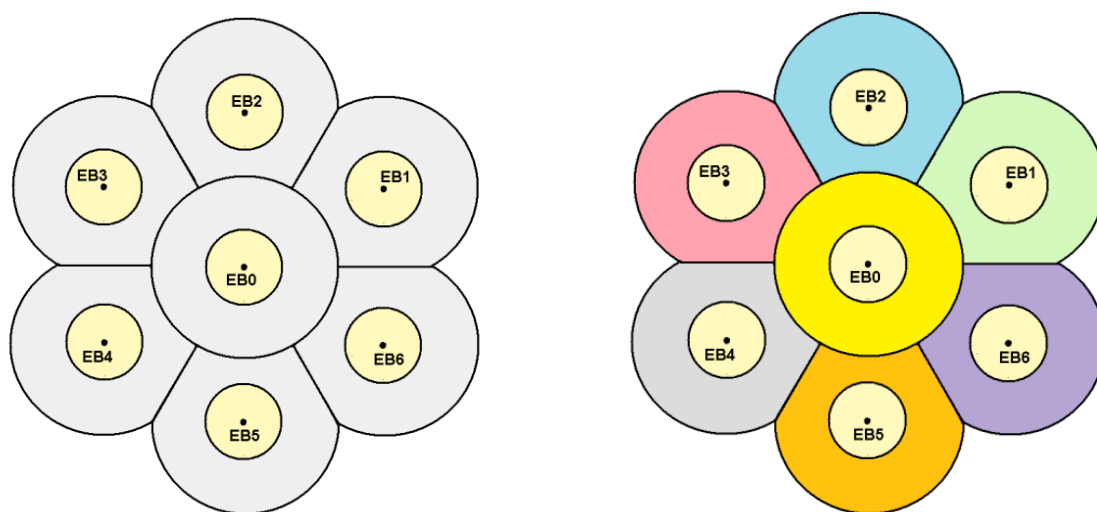
Para comparar la forma de los histogramas de los distintos valores de n , en la página siguiente se representa de forma conjunta las envolventes resultantes:

**Figura 197:**

Envloventes de Población, en función de la SINR[dB], en el conjunto de la célula *EB0*, para los distintos *n*.

2.6.3.1.3. Análisis de Resultados Contradictorios

Considérense estos dos **núcleos celulares aislados**, en los que se ha tomado la región de cobertura de la *EB0* bajo el modelo de célula circular aislada, es decir, asumiendo que la región de cobertura de su titularidad dentro del panel viene determinada íntegramente por el radio *r* de la misma.

**Figura 198:** Escenarios considerados para su comparativa en este apartado.

Se recopila, a continuación, las gráficas de la Función de Distribución de Probabilidad Estimada de SINR obtenidas para los escenarios anteriores, puestas a izquierda y derecha conforme a la figura anterior, según correspondan a uno u otro caso, para facilitar su comparativa.

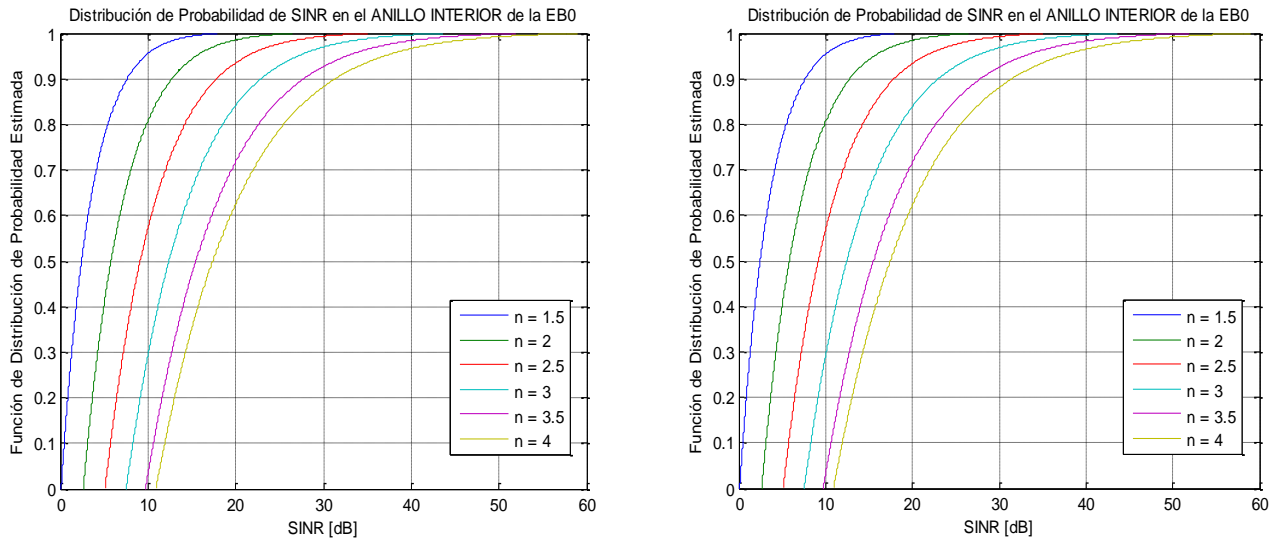


Figura 199: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ en el Anillo Interior de la célula *EB0* de los escenarios de la Fig. 198.

Como cabía esperar, en el anillo interior de la célula *EB0* las gráficas son exactamente las mismas en ambos casos. Cualquier diferencia que pueda apreciarse entre ellas será debida a la aleatoriedad propia de cada simulación o al redimensionamiento de la gráfica efectuado por Matlab o Word en el proceso de edición del documento.

A continuación se muestran las curvas de la Función de Distribución de Probabilidad Estimada, para los distintos n , en el anillo exterior de la célula *EB0*:

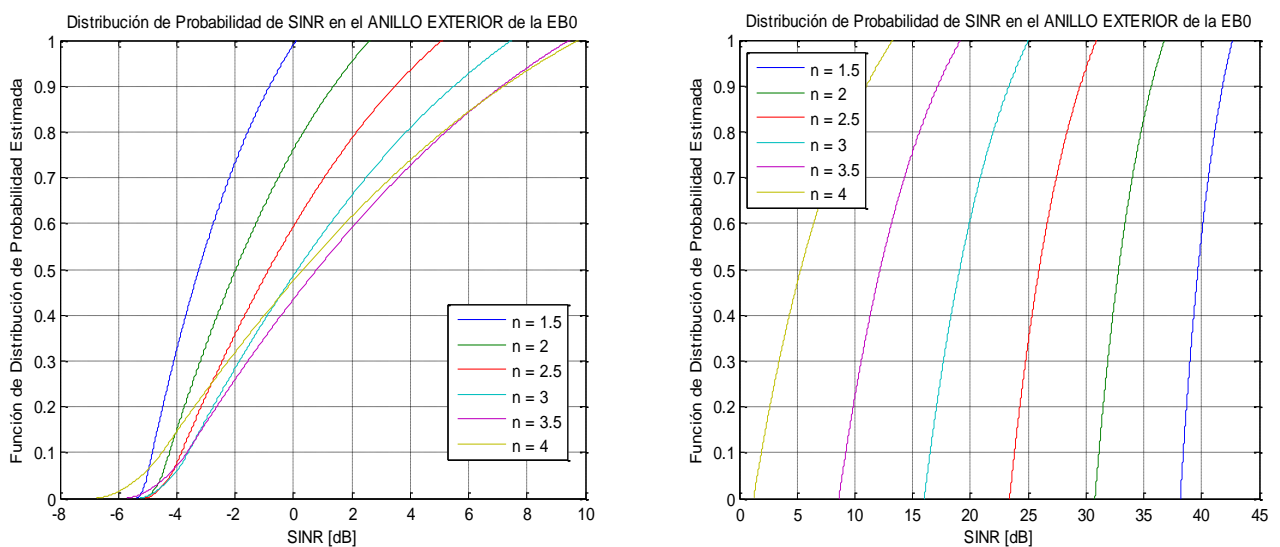


Figura 200: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ en el Anillo Exterior de la célula *EB0* de los escenarios de la Fig. 198.

Si se observa la comparativa de las curvas de Función de Distribución de Probabilidad Estimada de los distintos n en el anillo exterior, puede resultar contradictorio que la SINR tome valores tan elevados en el caso de la derecha, superiores, en buena medida, a los alcanzados por el mismo escenario en el anillo interior, para un mismo coeficiente n .

Tómese como ejemplo la curva roja ($n=2.5$) en el caso de la derecha, para la que el rango de valores de SINR viene a ser, aproximadamente, [23.5, 31] dB en el anillo exterior, y [5 y 35] dB en el anillo interior, a la vista de las gráficas. Por consiguiente, el rango [5, 23.5] dB de valores de SINR sólo corresponde a puntos del anillo interior; el rango [23.5, 31] dB integra todos los puntos de anillo exterior y algunos del interior; y finalmente, el rango [31, 35] dB se corresponde sólo con puntos del anillo interior. Esto explica la curiosa composición de gráficas de ambos anillos que se produce, en el caso de la derecha, al considerar la célula en su conjunto:

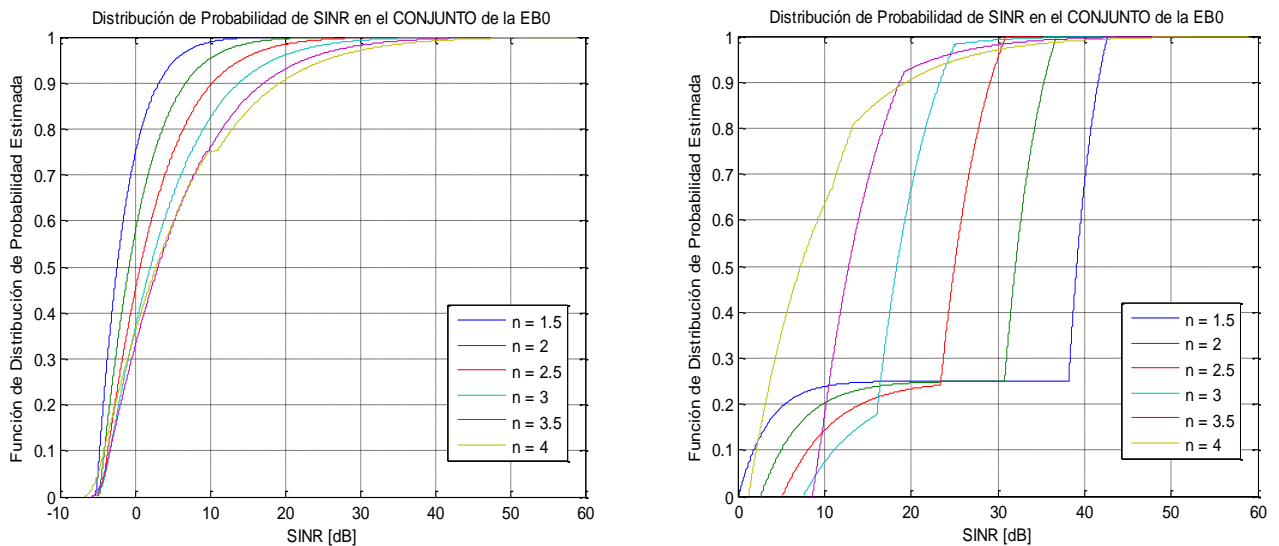


Figura 201: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ en el conjunto de la célula *EBO*, para los escenarios de la Fig. 198.

En virtud de los rangos anteriores de valores de SINR, se puede concluir que la parte inferior de la curva roja de la gráfica de la derecha, con forma parabólica, es debida exclusivamente a los puntos del anillo interior; al igual que la parte superior de dicha curva, compuesta de muy pocos puntos (que quedaría confundida con el marco de la gráfica). Esta presunción de que el rango [31, 35] dB integra muy pocos puntos se desprende de que la curva a partir de 31 dB viene a ser plana; y de que en el semieje de la izquierda se aprecia que la CDF alcanza el valor 1, o lo que es lo mismo, la probabilidad de que la SINR se encuentre por debajo de esos valores es del 100%.

Esa composición de rangos de valores de SINR, que se produce en el caso de la derecha, altera drásticamente la continuidad en el crecimiento de las curvas que puede observarse en la gráfica de la izquierda (salvando la leve discontinuidad en la curva de $n=4$, debida a un estrecho rango de valores altamente improbables).

Nótese que la parte parabólica de la curva roja, en la gráfica de la derecha, no integra sólo unos pocos puntos de medida de la célula: puede comprobarse, a la luz de la gráfica, que la probabilidad de que la SINR sea menor o igual de 23 dB en el anillo interior (es decir, que el valor más bajo de SINR del anillo exterior) es del 95%. Dicho con otras palabras, el 95 % de la región de cobertura del anillo interior³⁰ va a tener una SINR menor que la del anillo exterior, resultado que puede parecer paradójico, dado que los puntos del anillo exterior se encuentran más alejados de la Estación Base que los del anillo interior.

Siguiendo el razonamiento, apenas un 5% de los puntos de medida (o posiciones de los hipotéticos terminales móviles) del anillo interior quedan encuadrados en el rango [23.5, 31] dB, contribuyendo a la parte cuasi-recta de la curva, de mayor pendiente. Siendo, además, bastante más extensa la superficie del anillo exterior, se concluye que la práctica totalidad de los puntos de medida integrados en dicho rango (algo menos del 99%) corresponden al anillo exterior.

Hasta ahora, se ha explicado la forma tan peculiar de las curvas de la Función de Distribución de Probabilidad Estimada de la célula en su conjunto, en el caso de la derecha. Sin embargo, queda pendiente aún explicar el porqué de esos valores tan elevados de SINR en el anillo exterior.

Para comprenderlo, se va a realizar una nueva simulación, sin considerar la señal interferente, con el propósito de obtener las curvas de $CDF(SNR[dB])$ en la célula $EB0$, si bien, empleando la frecuencia de trabajo del anillo exterior en toda la región de cobertura.

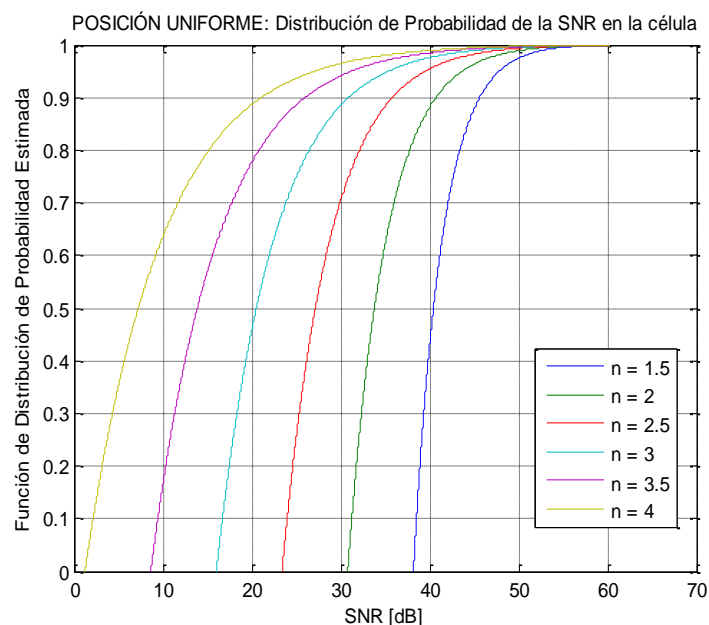


Figura 202:

Curvas de $CDF(SNR[dB])$ en la región de cobertura de la $EB0$, a la frecuencia de trabajo del anillo exterior.

³⁰ Puede aplicarse la correspondencia de porcentaje de puntos a porcentaje de superficie, dado que se ha empleado en la simulación una población de móviles uniformemente distribuida (o uniforme en posición).

Si en la gráfica anterior se ajusta la escala de los ejes con el mismo rango que el empleado en la gráfica de CDF del anillo exterior del caso de la derecha (`>> axis([0 45 0 1])`), resulta la siguiente:

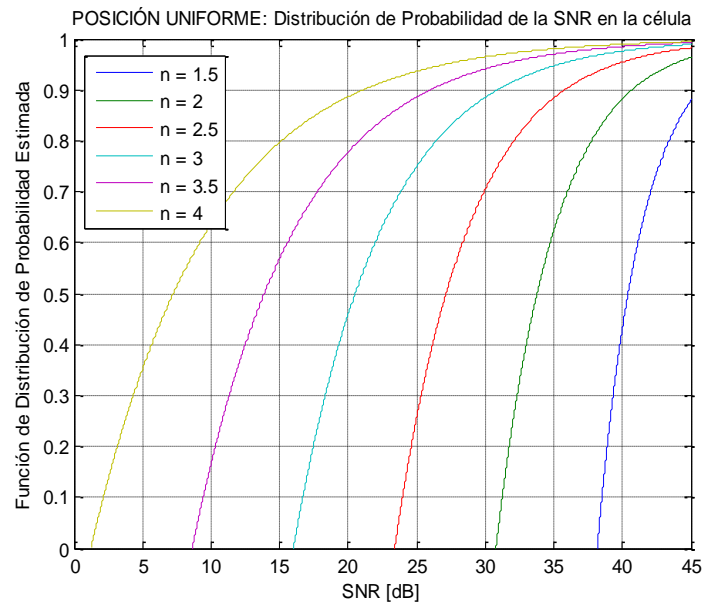


Figura 203: Misma gráfica de la Fig. 202, con los ejes ajustados a la escala de la Fig. 200 (derecha).

Puede observarse en la citada gráfica del anillo exterior que, tomando la curva azul claro ($n=3$), la $CDF(SINR)$ alcanza el valor 1 para una $SINR \leq 25$ dB. Por otra parte, puede observarse en la gráfica anterior de SNR que, tomando la curva azul claro, la $CDF(SNR)$ resulta, aproximadamente, 0.75 para una $SNR \leq 25$ dB. Por tanto, para una mejor comparativa de ambas gráficas, se ajustan los ejes de ésta última de la siguiente forma:

`>> axis([0 45 0 0.75]);`

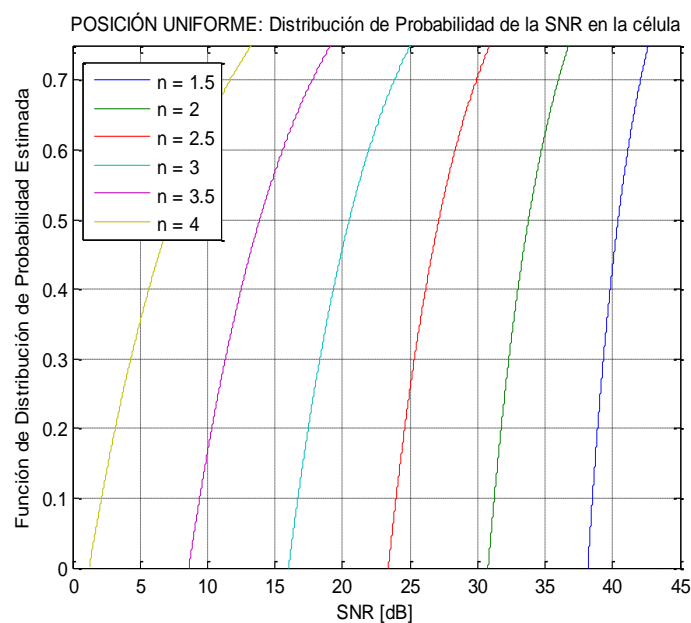


Figura 204: Detalle de la gráfica de la Fig. 203.

Puede comprobarse que, con la salvedad de que los valores de probabilidad del eje de ordenadas son distintos, se llega a la misma gráfica.

Nótese que para la obtención de esta última gráfica se han considerado el 75% de los puntos de medida de la célula, correspondientes al anillo exterior.

De este modo, puede comprobarse también que, si en la gráfica de $CDF(SINR)$ de la célula completa se ajusta el eje de abscisas a la misma escala que la empleada en la gráfica del anillo exterior, y el eje de ordenadas de tal modo que contenga el 75% de los puntos de medida de la célula, tomados de mayor a menor SINR (obviando los escasos valores por encima de 31 dB), se viene a obtener la misma curva roja ($n=2.5$):

```
>> axis([0 45 0.25 1])
```

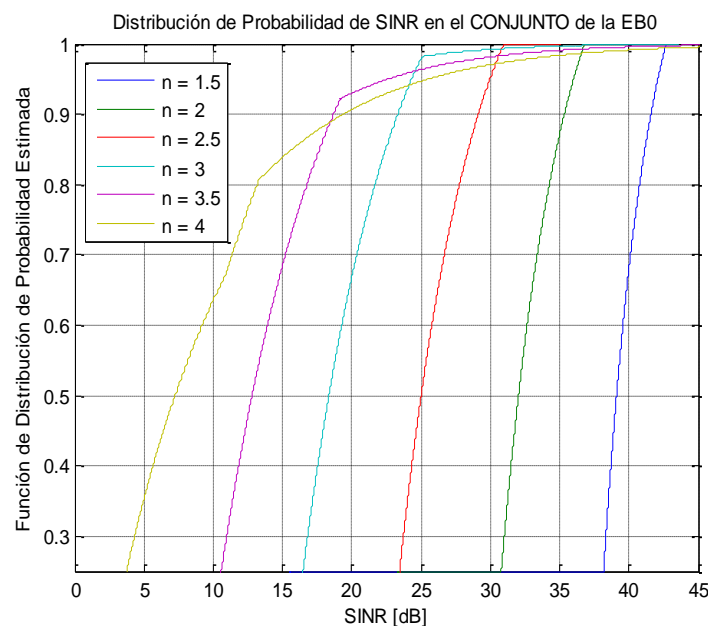


Figura 205: Detalle de la gráfica de la Fig. 201 (derecha).

Esto último resulta así ya que, según se ha concluido anteriormente, la práctica totalidad de los puntos de medida que integran el rango de SINR que determina el trazado cuasi-recto de la curva roja corresponden al anillo exterior (algo menos del 99%).

La explicación de la correspondencia de las gráficas de $CDF(SINR)$ y $CDF(SNR)$ del anillo exterior de la célula $EB0$, en el caso del núcleo celular de ocho colores, radica en el hecho de que no hay interferencia en dicho anillo por parte de ninguna de las seis células adyacentes, mientras que sí la hay en el anillo interior. No habiendo interferencia alguna en el anillo exterior, la SINR en los puntos de esa región coincidirá con su SNR, lo que explica los valores tan elevados de SINR.

Para confirmar tales valores, a continuación se va a obtener la curva de $SNR(d)$ a la frecuencia de trabajo del anillo exterior, para $n=2.5$, siendo d la distancia a la Estación Base:

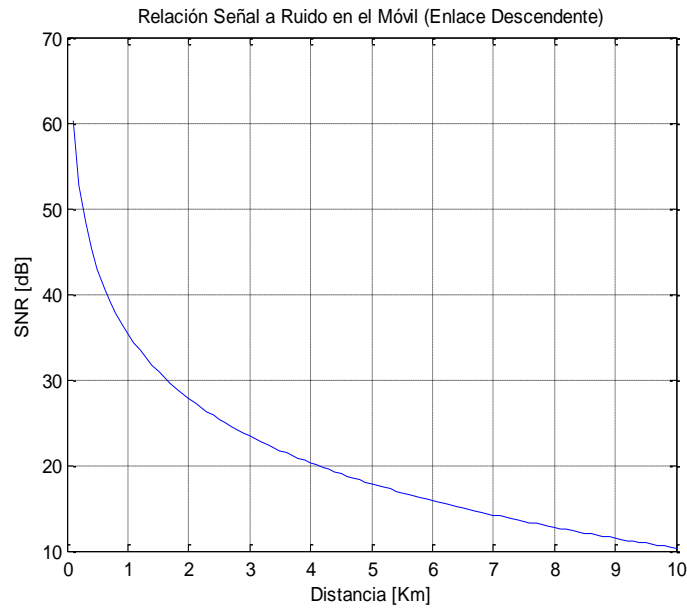


Figura 206: $SNR(d)$ a la frecuencia de trabajo del anillo exterior, para $n=2.5$.

La curva anterior se corresponde con la curva roja de la gráfica siguiente:

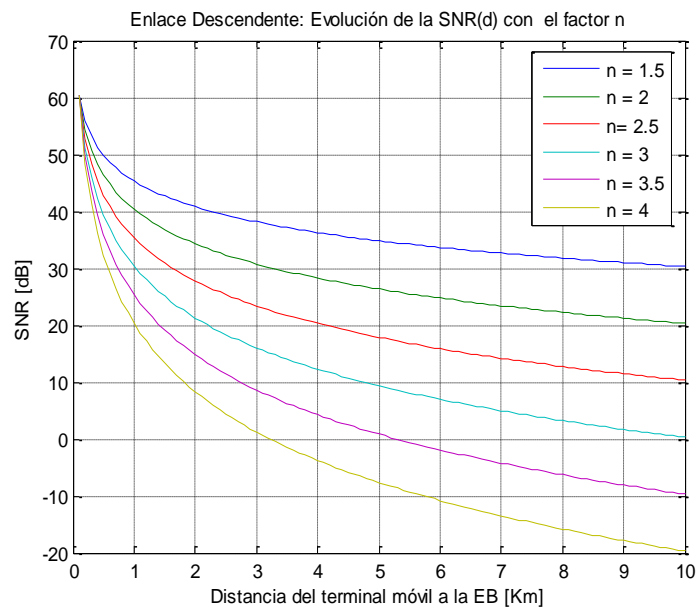


Figura 207: $SNR(d)$ a la frecuencia de trabajo del anillo exterior, para distintos valores de n .

Obsérvese que la SNR, estando expresada en decibelios, decrece más rápido al principio, tendiendo a suavizar su pendiente a medida que aumenta la distancia.

Obsérvense los valores de SNR de la curva roja en el rango de distancias correspondiente al anillo exterior (de 1.5 a 3 Km), en la gráfica de la página siguiente, en la que también se ha ajustado la escala del eje de ordenadas:

```
>> axis([1.5 3 0 50])
```

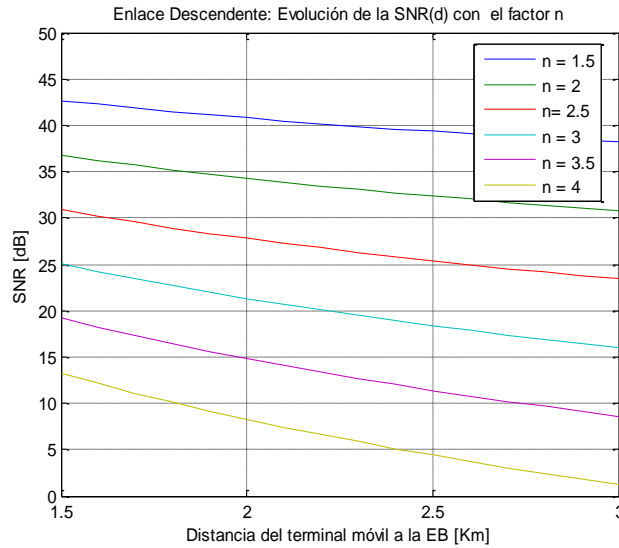


Figura 208: Detalle de la Fig. 207.

Se observa en esta última gráfica que el rango de valores de SNR de la curva roja resulta, aproximadamente, [23.5, 31] dB, confirmando los valores de SINR observados en la gráfica de CDF del anillo exterior del caso FFR de la derecha.

Para completar el análisis faltaría verificar que el rango de valores de SINR observados en la gráfica de CDF del anillo interior es, igualmente, correcto. Dicha gráfica resultaba idéntica para los dos casos FFR comparados (derecha e izquierda), dado que, en ambos casos, se producía interferencia de las Estaciones Base de las seis células adyacentes en el anillo interior de la *EB0*.

Para realizar dicha verificación, se va a tomar el núcleo celular aislado formado por siete células dispuestas según un panel hexagonal regular, con $r=3$ Km, que emplean el mismo radiocanal en el enlace, y se va a observar la interferencia de las seis Estaciones Base periféricas sobre la célula *EB0*, en un círculo de 1.5 Km de radio respecto del centro de la misma:

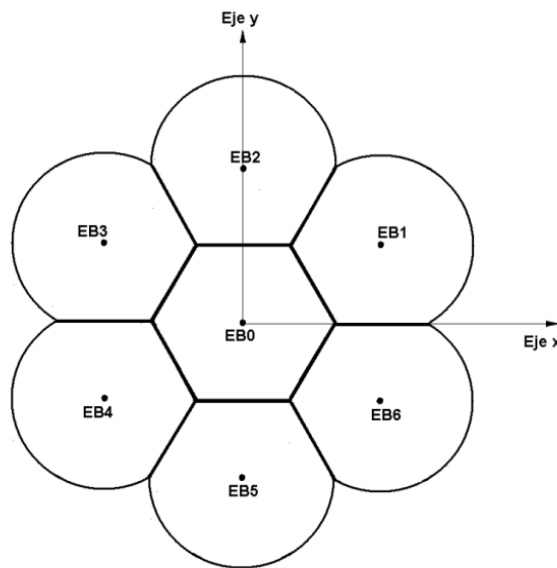


Figura 209: Panel de siete células que emplean el mismo radiocanal.

Lógicamente, se empleará como frecuencia de trabajo la del anillo interior de los casos FFR analizados, conservando el resto de parámetros de dichas simulaciones.

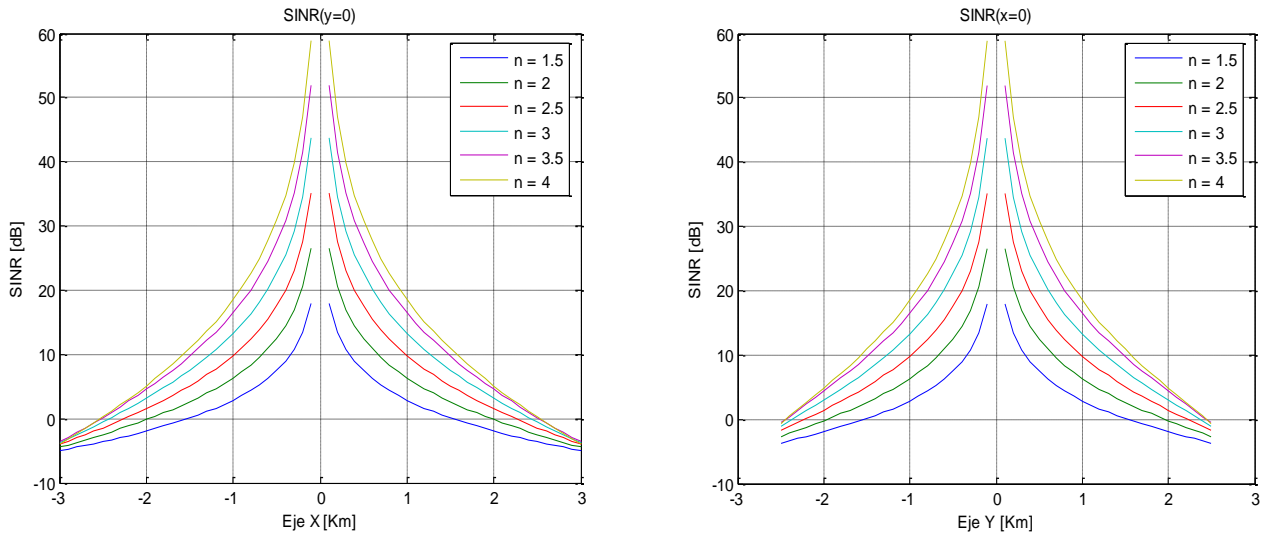


Figura 210: Cortes de la gráfica 3-D de la SINR, según los ejes X e Y, en el escenario de la Fig. 209.

Normalizando las diferentes curvas de las gráficas anteriores respecto de su valor máximo:

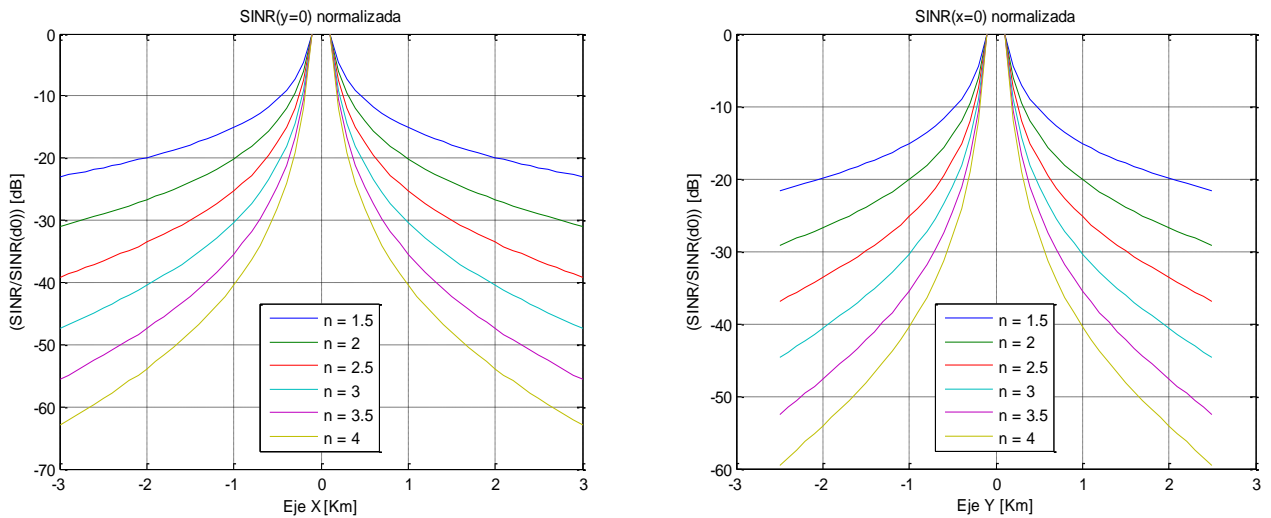


Figura 211: Cortes de SINR normalizada, según los ejes X e Y, en el escenario de la Fig. 209.

Aunque a efectos de interferencia el escenario considerado no tiene simetría de revolución (al contrario de si se estuviese evaluando la SNR), las gráficas anteriores ponen de manifiesto que la SINR también decrece bruscamente al principio, tendiendo a suavizar la caída conforme aumenta la distancia al centro de la célula *EB0*.

Ajustando los ejes de las gráficas, para observar un anillo de 1.5 Km de radio respecto del centro de la célula:

```
>> axis([-1.5 1.5 0 50])
```

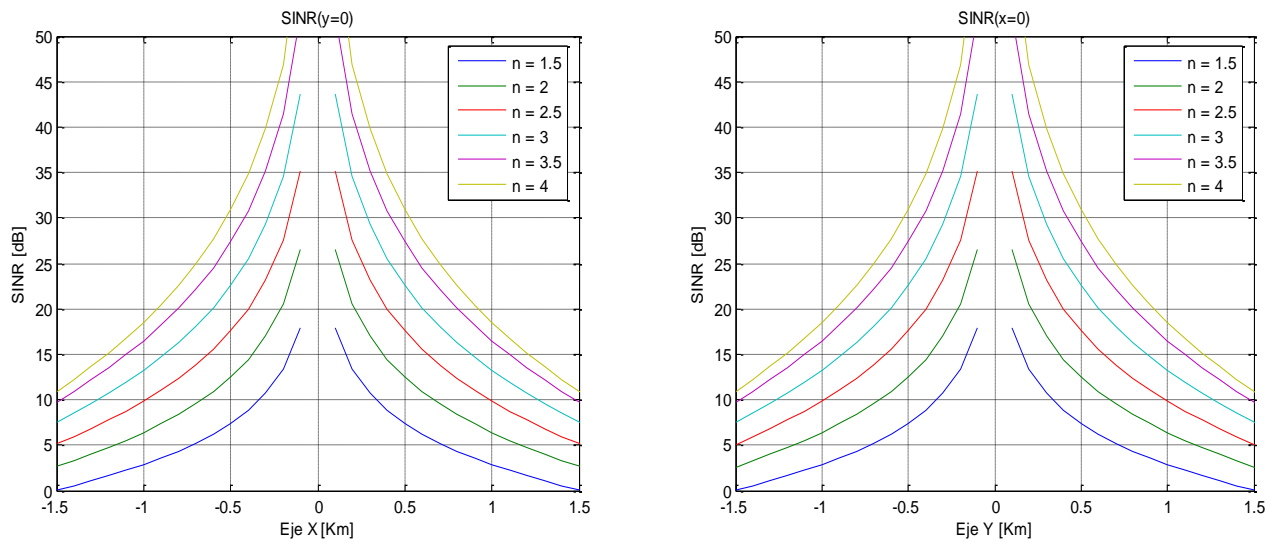


Figura 212: Detalle de la Fig. 210, ajustado los ejes de distancias al radio del anillo interior.

Se observa que, en ambos ejes X e Y, queda la misma gráfica, debido a la simetría del escenario respecto de dichos ejes.

Se comprueba que la SINR, para $n=2.5$ y una distancia $d < 1.5$ Km, varía entre 5 y 35 dB, aproximadamente, que se corresponde con los valores de SINR del anillo interior de los casos FFR analizados, quedando perfectamente demostrados los resultados obtenidos en los mismos.

Del mismo modo que se planteó la cuestión del por qué de los valores tan (relativamente) elevados de SINR en el anillo exterior del escenario FFR de la derecha, cabe preguntarse el por qué de los valores tan (relativamente) bajos de SINR en el anillo interior del mismo.

La clave no se encuentra en la pendiente de las curvas, dado que las gráficas aportadas revelan que, tanto la SNR, como la SINR, decrecen bruscamente al principio (al alejarnos de la Estación Base).

La clave reside en que, en el escenario considerado (núcleo celular aislado de siete células), la SINR empieza en un valor muy bajo respecto de la SNR: más de 24 dB por debajo de la misma, en el caso de la curva roja. Esto se deduce, fácilmente, observando las curvas de SINR, en las que se aprecia que la diferencia entre la curva de $n=2.5$ y la de $n=4$ viene a ser de 24 dB a la distancia d_0 .

Esta consideración se hace teniendo en cuenta que, para $n=4$, las pérdidas del trayecto de las distintas EB interferentes van a ser considerablemente mayores que para $n=2.5$, es decir, que la $SINR(n=4)$ se va a aproximar considerablemente más a la SNR que la $SINR(n=2.5)$.

En todo caso, a fin de comprobarlo, se va a obtener la curva de $SNR(d)$ para $n=2.5$, a la frecuencia de trabajo del anillo interior de los escenarios FFR:

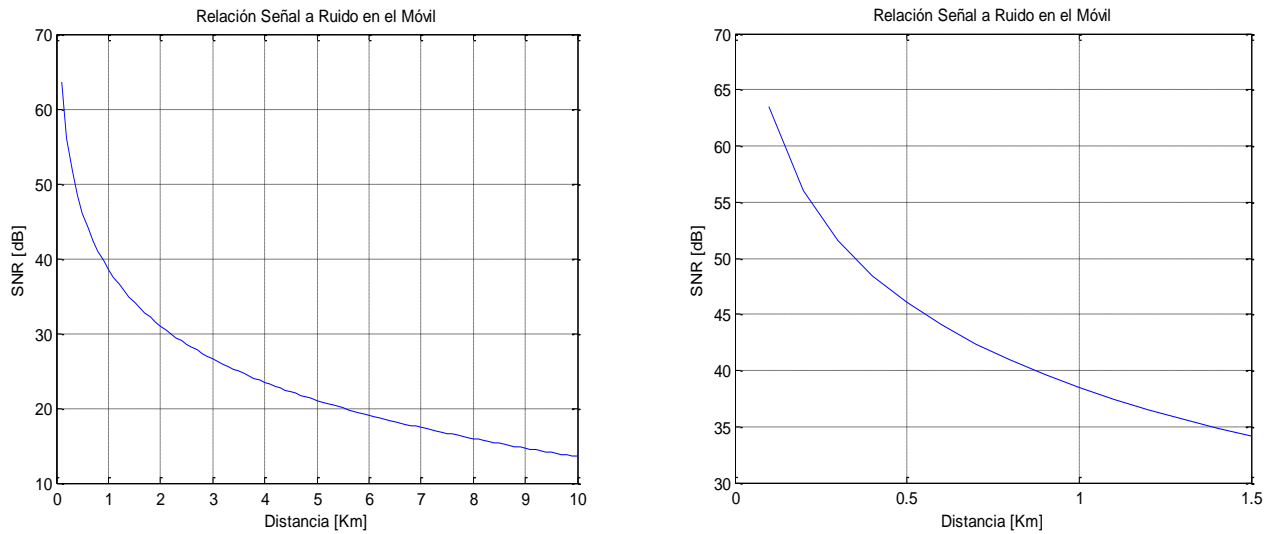


Figura 213: SNR(d) a la frecuencia de trabajo del anillo interior, para $n=2.5$.

Tomando como punto de partida la distancia d_0 , se observa que la SNR comienza en 64 dB, existiendo una diferencia de 29 dB con respecto a la SINR a dicha distancia (medida en cualquiera de los ejes X e Y).

Dicho en otras palabras, **el grado de interferencia** en este escenario (panal hexagonal regular de siete células empleando el mismo radiocanal, con $r = 3$ Km) **es considerablemente grande**, especialmente para valores de $n \leq 3.5$.

Por consiguiente, aplicado al caso FFR bajo análisis, se concluye que no hay interferencia en el anillo exterior, a la vez que la interferencia en el anillo interior es considerablemente grande, provocando esa forma tan peculiar de la gráfica de CFD(SINR) de la célula en su conjunto.

2.6.3.2. Escalamiento de Casos FFR

En este apartado se pretende mostrar algún ejemplo del escalamiento de núcleos celulares con reutilización de frecuencias FFR, que ilustre el mecanismo para llegar a los escenarios reales presentados en la Comparativa de Escenarios posterior.

2.6.3.2.1. Reutilización FFR 3+3

Considérese la siguiente unidad FFR tricelular, donde cada color representa la utilización de un radiocanal distinto:

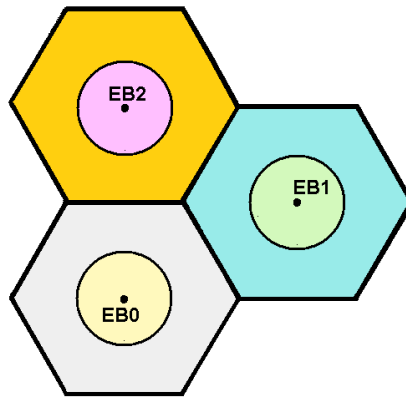


Figura 214: Núcleo de tres células FFR que emplea seis radiocanales diferentes.

Nótese que cada célula emplea dos radiocanales diferentes y distintos de los empleados por las otras células, de tal modo que el núcleo celular utiliza un conjunto de tres radiocanales para el anillo interior de las células y otro conjunto de tres radiocanales para el borde exterior de las mismas.

Escalando la unidad celular anterior resulta el siguiente escenario:

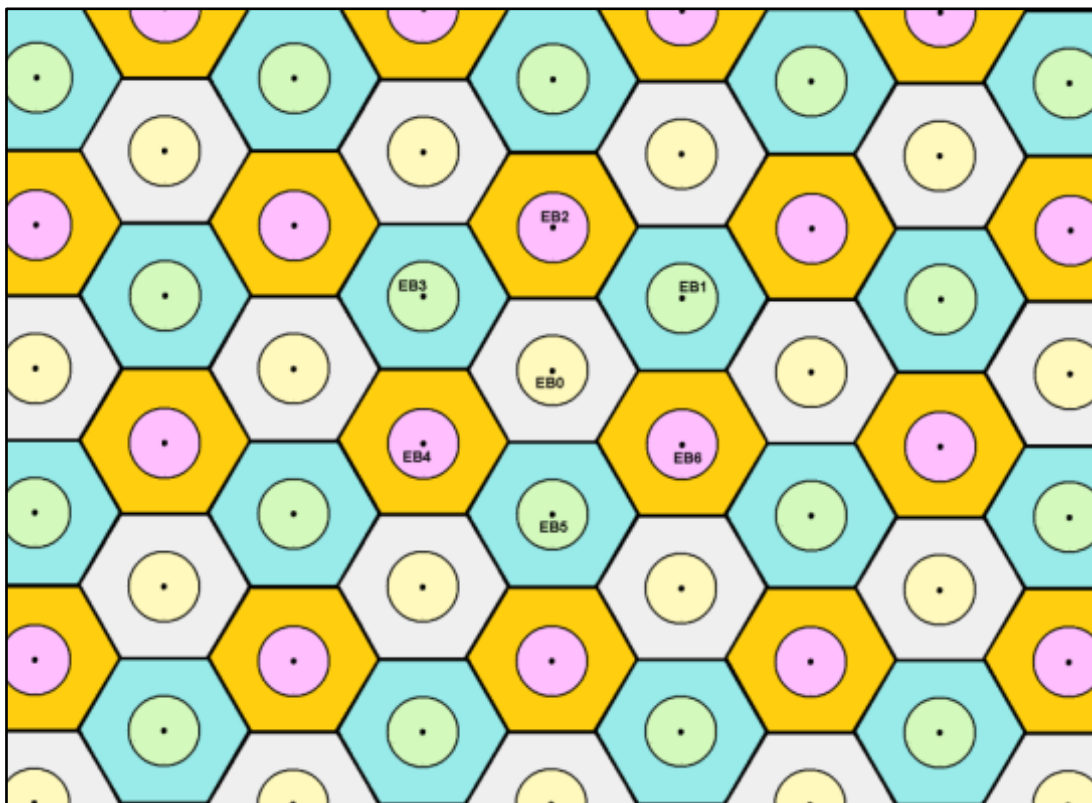


Figura 215: Escenario que escala la unidad celular de la Fig. 213.

Considerando únicamente la contribución de las células interferentes más cercanas, en la región de cobertura de la $EB0$, resulta el siguiente caso de estudio, que será analizado en detalle en la Comparativa de Escenarios posterior:

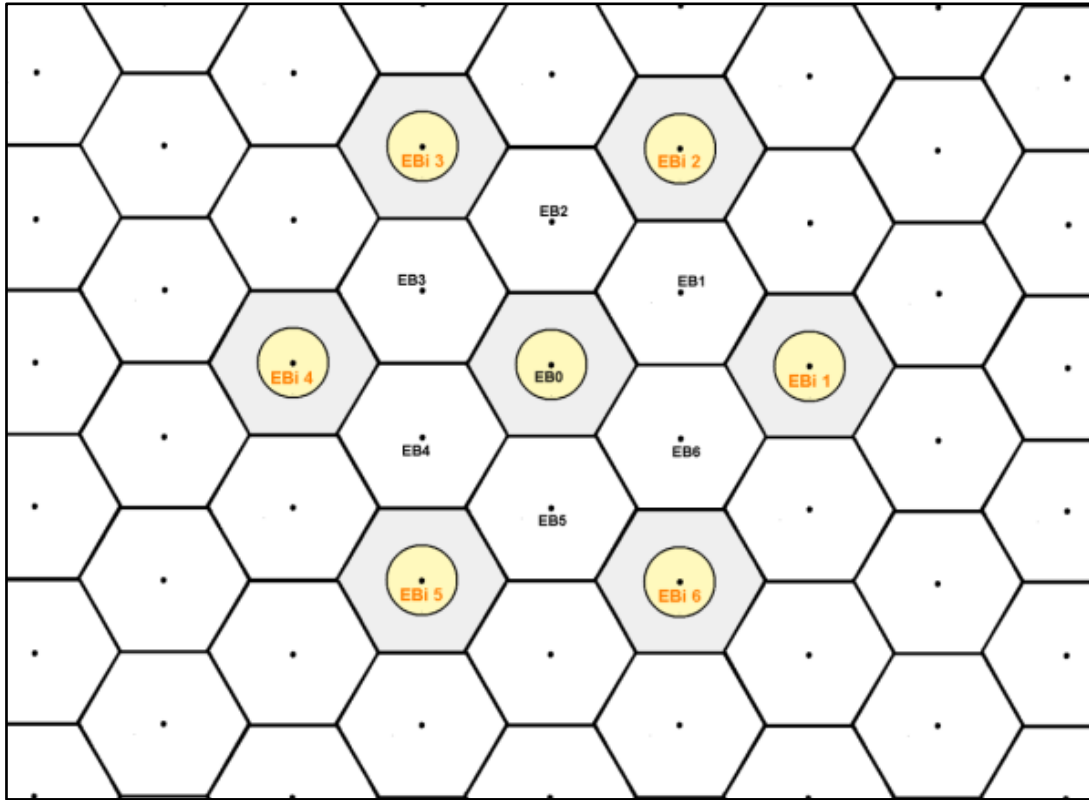


Figura 216:

Células interferentes cuya contribución se estima significativa en la región de cobertura de la célula $EB0$.

En la figura anterior se han considerado únicamente las células del primer anillo interferente, cuyas Estaciones Base distan $d=3r$ de la $EB0$, bajo la presunción de que las Estaciones Base del segundo anillo interferente se encuentran ya lo suficientemente alejadas ($d=6r$) para que su contribución sea despreciable.

En este escenario se verifica que:

$$\text{Para el anillo interior: } d2_{min} = d3_{min} = 2.5r$$

$$\text{Para el anillo exterior: } d2_{min} = d3_{min} = 2r$$

2.6.3.2.2. Reutilización FFR 7+3

Considérese el siguiente núcleo de siete células FFR, donde cada color representa la utilización de un radiocanal distinto:

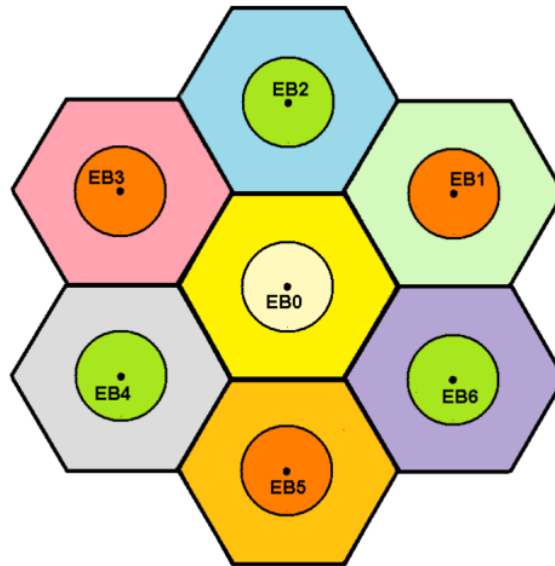


Figura 217: Núcleo celular FFR que emplea diez radiocanales distintos.

Nótese que el núcleo celular anterior utiliza un conjunto de tres radiocanales para el anillo interior de las células y otro conjunto de siete radiocanales para el borde exterior de las mismas.

Este modelo, tal cual, no es escalable. Sin embargo, de forma independiente, sí que se puede escalar el conjunto formado por los siete anillos celulares exteriores y la siguiente distribución de anillos interiores:

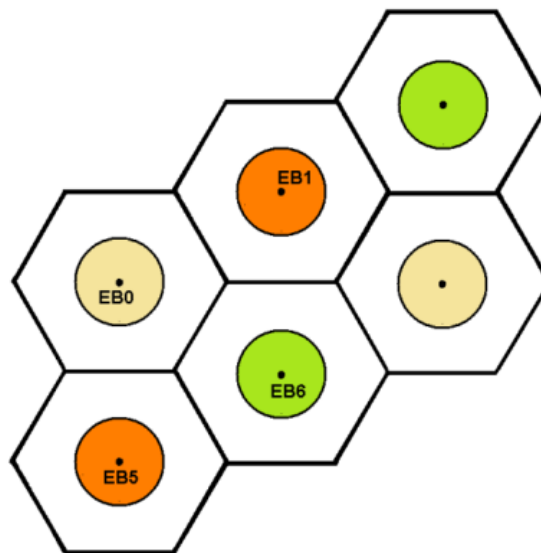


Figura 218:

Propuesta de asignación de radiocanales en los anillos interiores, para posterior su escalamiento.

De este modo, escalando la asignación de radiocanales de los anillos exteriores, resulta:

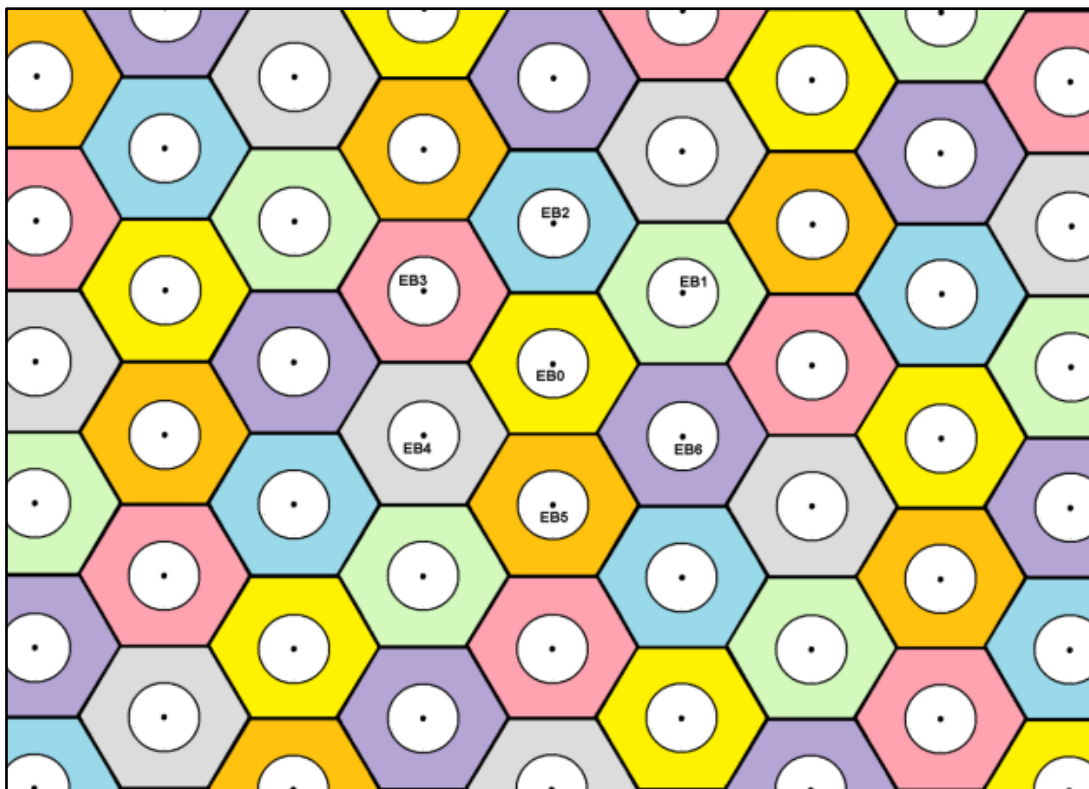


Figura 219: Resultado de escalar la asignación de radiocanales de los anillos exteriores de la Fig. 217.

Escalando la asignación de radiocanales de los anillos interiores de la Fig. 218 sobre la Fig. 219, de la forma más óptima posible (en términos de interferencia), resulta el siguiente escenario:

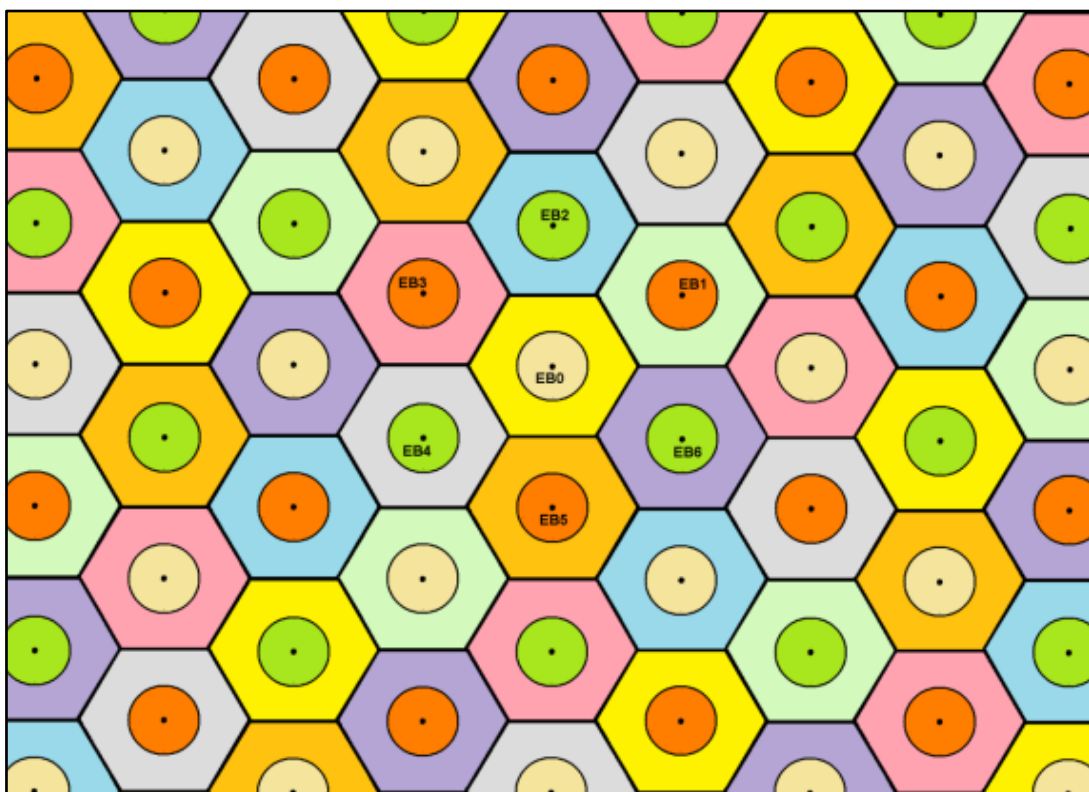


Figura 220: Escenario que emplea Reutilización de frecuencias FFR 7+3.

Considerando la interferencia sobre la región de cobertura de la *EB0*, que es lo que se pretende estudiar, se tiene la siguiente situación:

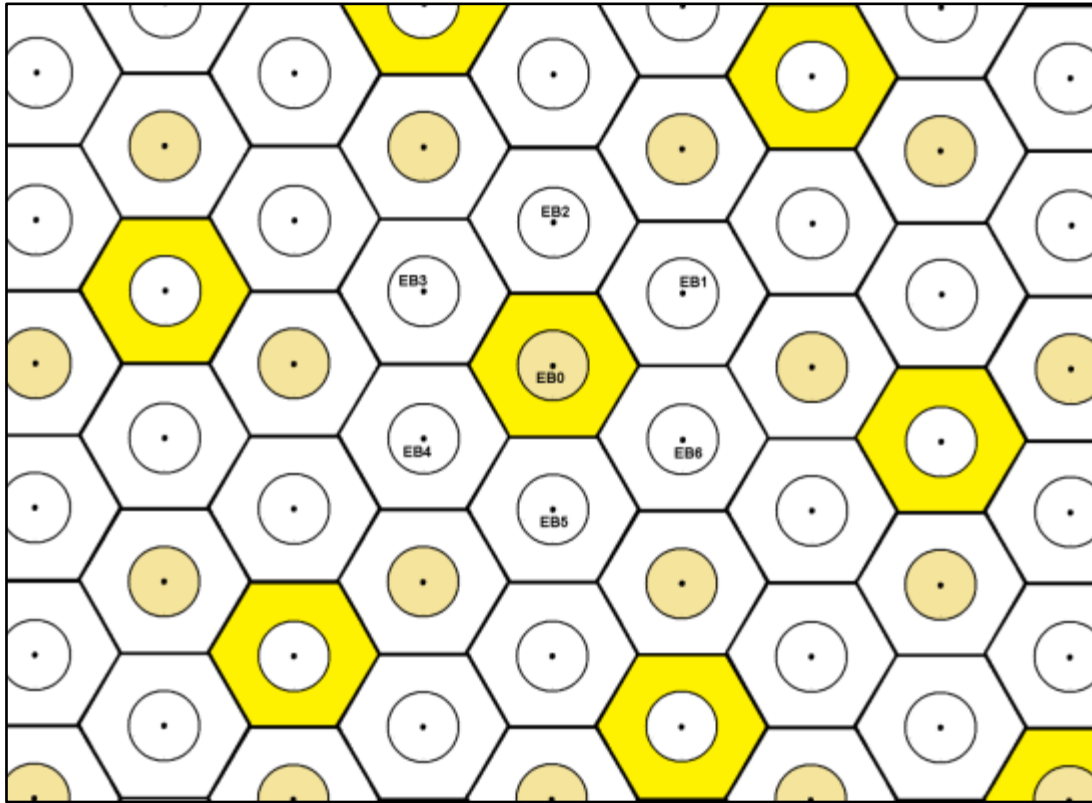


Figura 221: Anillos interferentes en la región de cobertura de la célula *EB0*.

A fin de simplificar el análisis, se va a considerar únicamente el primer anillo de células interferentes con el anillo interior de la *EB0* y el primer anillo de células interferentes con el anillo exterior de la misma, bajo la presunción de que las Estaciones Base del segundo anillo interferente se encuentran, en cada caso, lo suficientemente alejadas para que su contribución sea despreciable.

En el caso de los anillos interiores, el primer anillo celular interferente dista $d=3r$ de la *EB0*, mientras que las EB del segundo distarían $d \geq 3\sqrt{3} r$ de la *EB0*.

En la figura de la página siguiente se muestra el caso de estudio resultante, que será analizado en detalle en la Comparativa de Escenarios posterior.

Se observa fácilmente en dicha figura que los vectores de posición de las EB de las seis células que interfieren con el anillo interior de la *EB0* tienen el mismo módulo y que el de las EB de las seis células que interfieren con el anillo exterior de la *EB0* también. De ahí, que se hable de anillos de células interferentes.

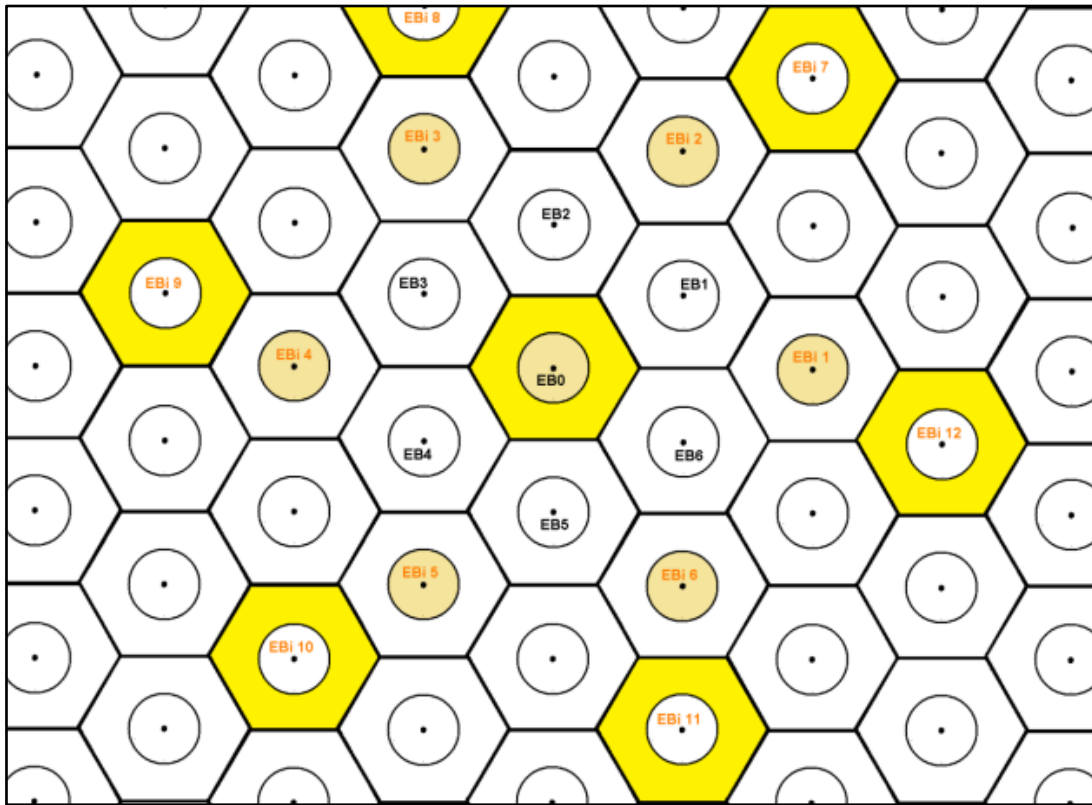


Figura 222:

Anillos interferentes cuya contribución se estima significativa en la región de cobertura de la célula $EB0$.

En este escenario se verifica que:

Para el anillo interior: $d2_{min} = d3_{min} = 2.5 r$

Para el anillo exterior: $d2_{min} = d3_{min} = 3.6 r$

3. COMPARATIVA DE ESCENARIOS

En este capítulo se va a llevar a cabo la comparación de prestaciones de diferentes implementaciones de redes celulares, desde un punto de vista realista, a fin de determinar la mejor opción bajo distintos criterios o circunstancias.

Significa esto que los escenarios a estudiar habrán sido debidamente escalados, es decir, que el núcleo o unidad celular básica, representativa de los mismos, habrá sido previamente replicada, constituyendo una red ilimitada, a efectos del análisis llevado a cabo en la región de cobertura de la célula de referencia bajo estudio.

La Comparativa de Escenarios se basará en la evaluación de la SINR y la Capacidad Máxima Teórica del Enlace sobre la región de cobertura de la célula de referencia y en el posterior análisis comparativo de resultados.

El estudio se restringirá al Enlace Descendente, obviándose la contribución de aquellas células interferentes que, en virtud de los análisis efectuados en el capítulo anterior, se estimen suficientemente alejadas.

3.1. PRESENTACIÓN DE ESCENARIOS

En este apartado se van a presentar los diferentes escenarios que van a ser evaluados en la Comparativa desarrollada a continuación.

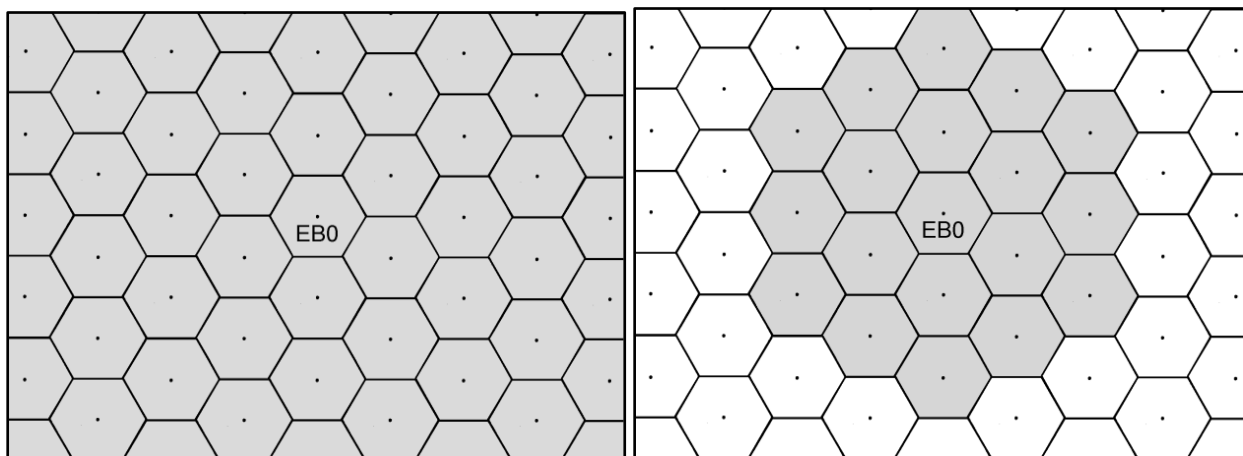
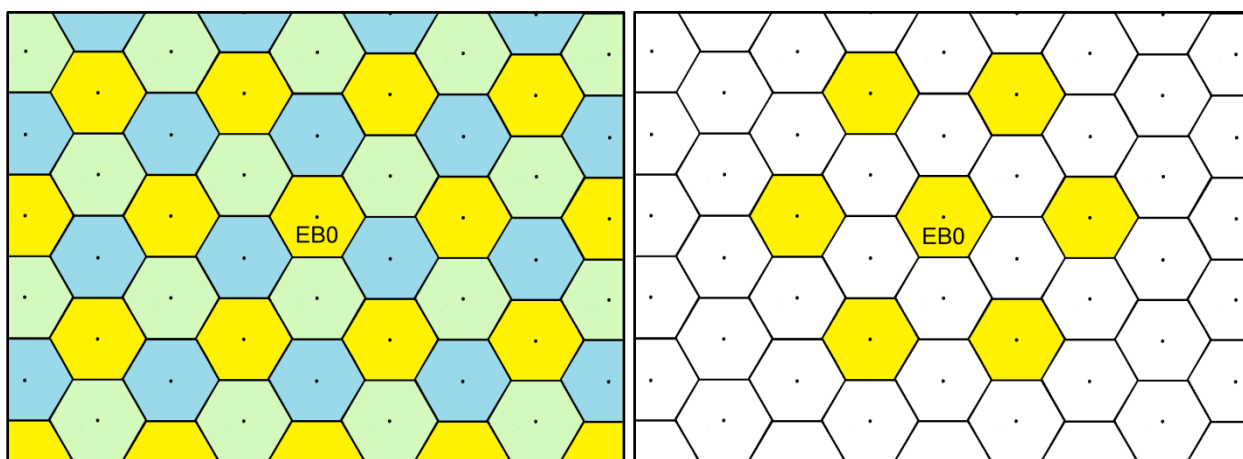
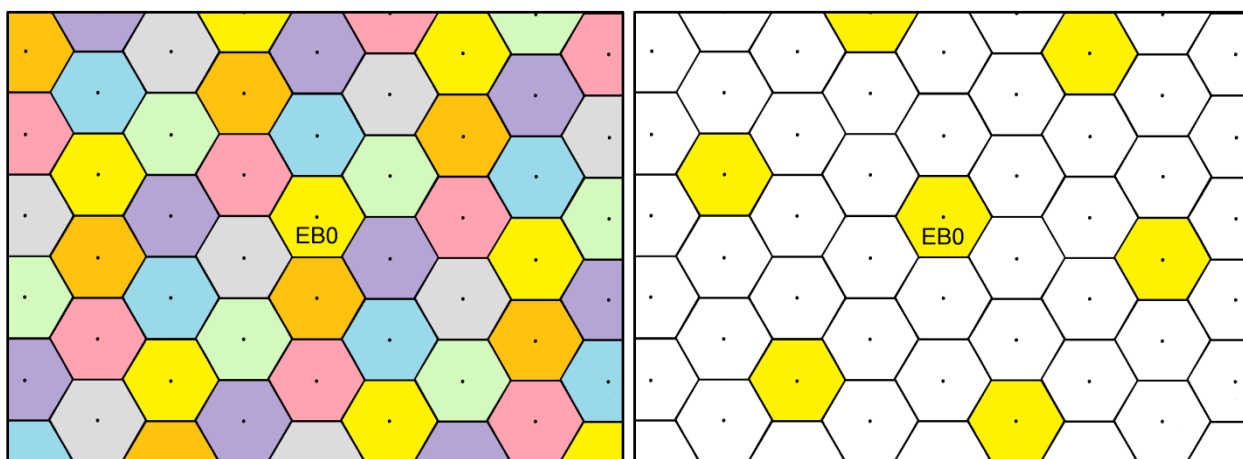
Por simplicidad, los escenarios serán identificados con una letra mayúscula junto a la denominación de cada uno de ellos, con la que serán referenciados de aquí en adelante.

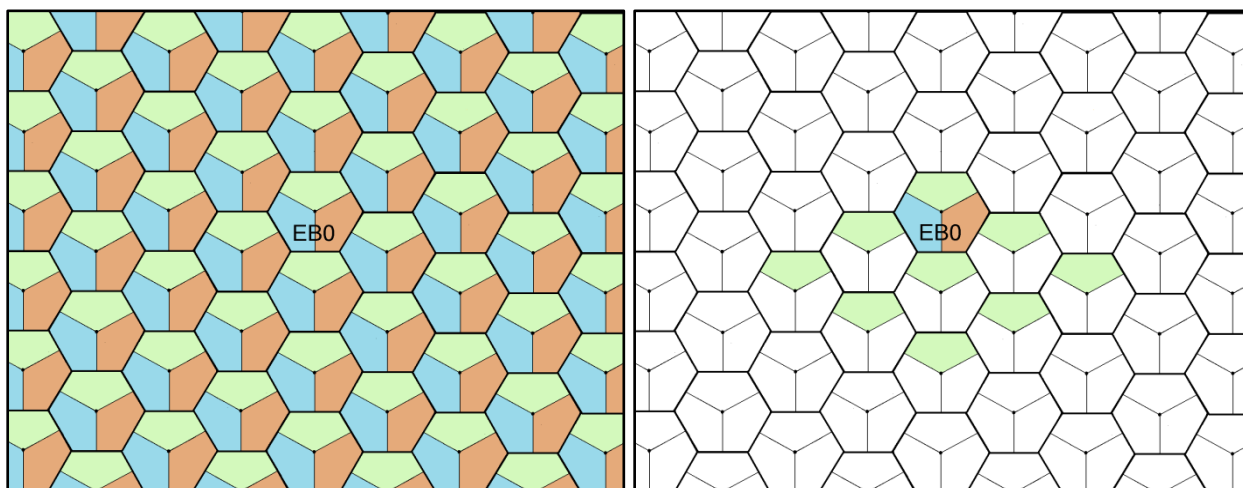
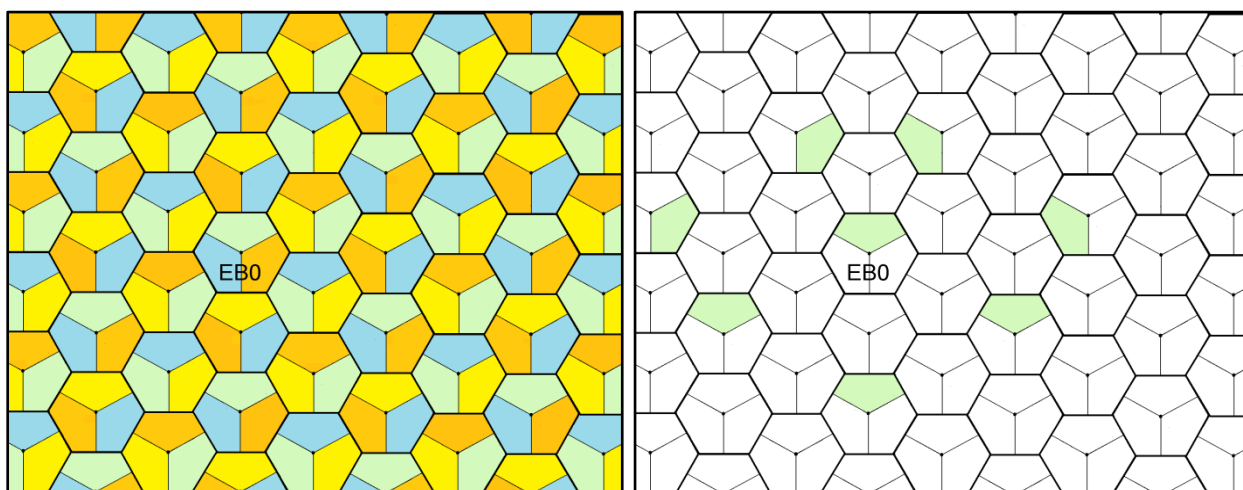
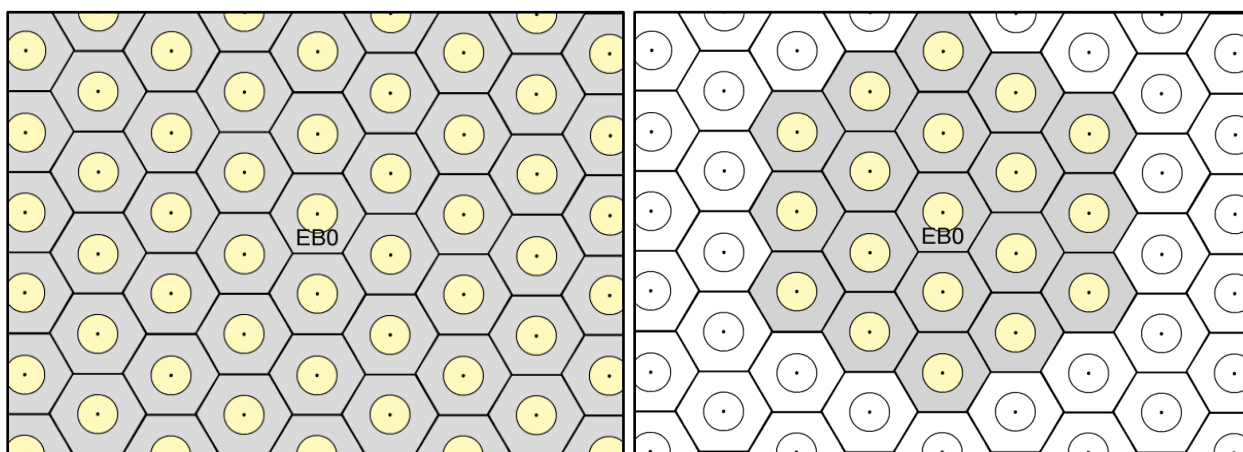
Se empleará el color blanco para identificar las células cuya contribución no se considere significativa, bien por emplear una subbanda diferente de frecuencia, bien por encontrarse suficientemente alejadas de la célula de referencia bajo estudio.

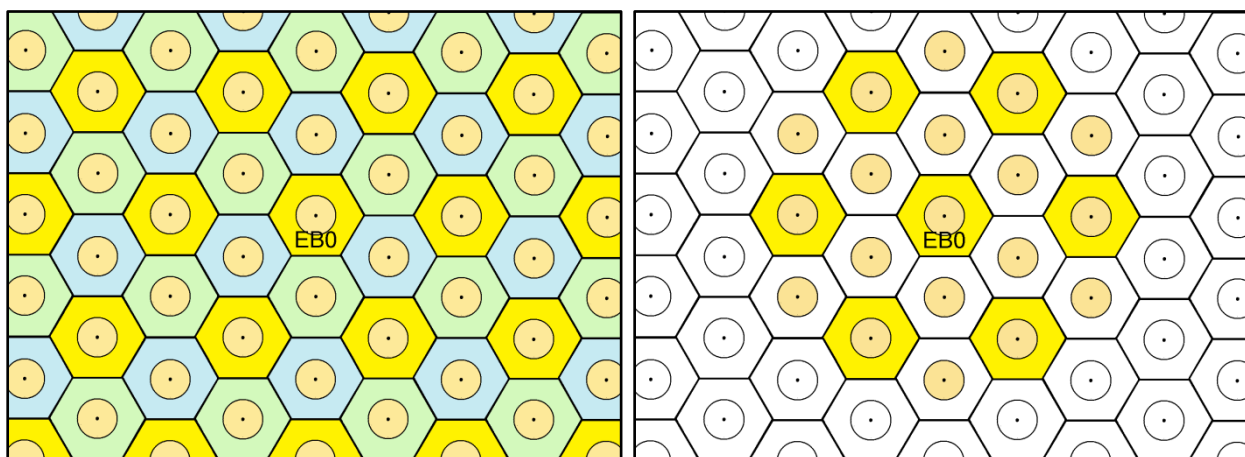
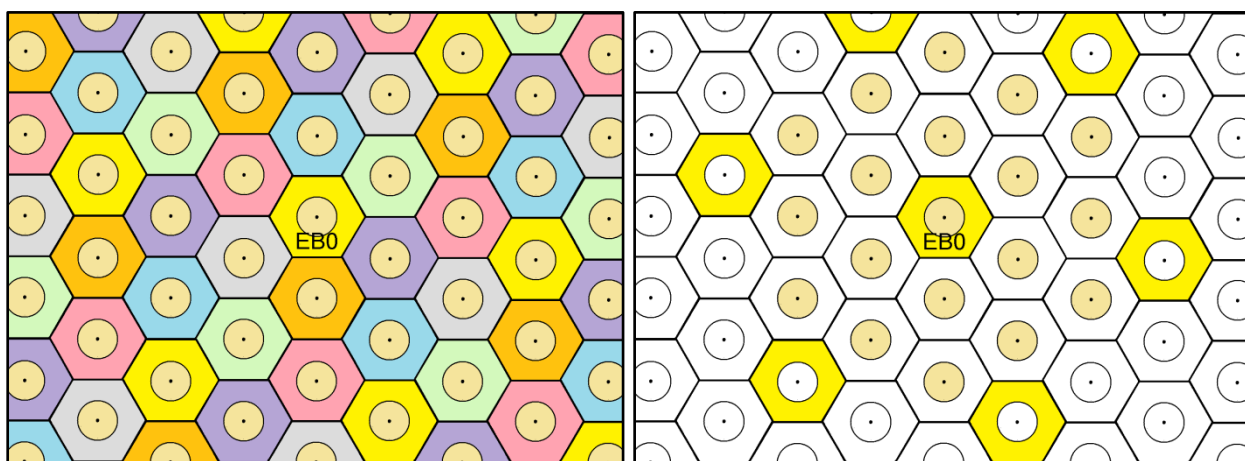
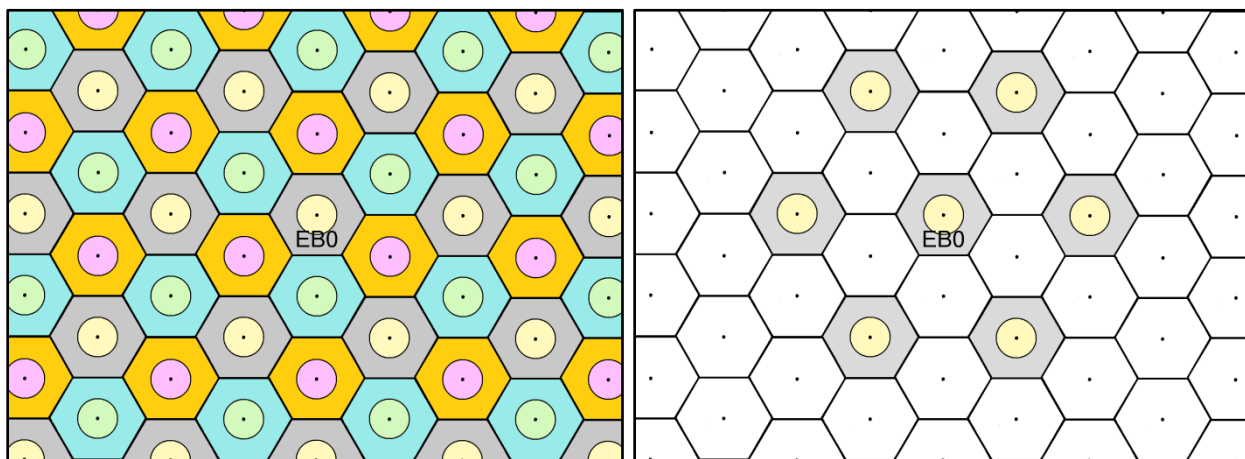
Con la salvedad del blanco, cada color va a representar la utilización del mismo conjunto o juego de canales que integran una subbanda. En definitiva, el empleo de una misma subbanda³¹.

A continuación se presentan los escenarios incluidos en la Comparativa, mostrando en la figura de la izquierda el escenario escalado de forma ilimitada y, sombreados en la figura de la derecha, las células, sectores o anillos interferentes (en la región de cobertura de la célula *EB0*), considerados en la simulación del mismo.

³¹ Debe sobreentenderse la pareja de subbandas correspondiente a los enlaces ascendente y descendente.

ESCENARIO A: Reutilización Celular Monobanda**Figura 223:** Reutilización Celular Monobanda y contribuciones interferentes consideradas en la célula *EB0*.**ESCENARIO B: Reutilización Celular Tribanda****Figura 224:** Reutilización Celular Tribanda y contribuciones interferentes consideradas en la célula *EB0*.**ESCENARIO C: Reutilización Celular Heptabanda****Figura 225:** Reutilización Celular Heptabanda y contribuciones interferentes consideradas en la célula *EB0*.

ESCENARIO D: Reutilización Sectorial Tribanda**Figura 226:** Reutilización Sectorial Tribanda y contribuciones interferentes consideradas en el *Sector 1* de la *EB0*.**ESCENARIO E: Reutilización Sectorial Tetrabanda****Figura 227:** Reutilización Sectorial Tetrabanda y contribuciones interferentes consideradas en el *Sector 1* de la *EB0*.**ESCENARIO F: Reutilización FFR Bibanda****Figura 228:** Reutilización FFR Bibanda y contribuciones interferentes consideradas en la célula *EB0*.

ESCENARIO G: Reutilización FFR 3+1**Figura 229:** Reutilización FFR 3+1 y contribuciones interferentes consideradas en la célula *EB0*.**ESCENARIO H: Reutilización FFR 7+1****Figura 230:** Reutilización FFR 7+1 y contribuciones interferentes consideradas en la célula *EB0*.**ESCENARIO I: Reutilización FFR 3+3****Figura 231:** Reutilización FFR 3+3 y contribuciones interferentes consideradas en la célula *EB0*.

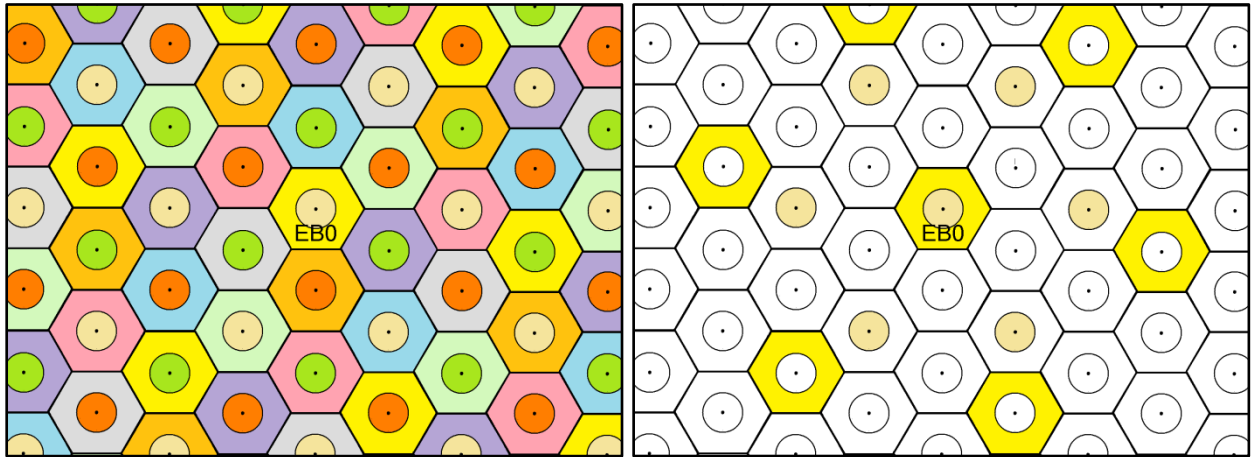
ESCENARIO J: Reutilización FFR 7+3

Figura 222: Reutilización FFR 7+3 y contribuciones interferentes consideradas en la célula *EB0*.

Obsérvense las figuras del escenario H. Nótese que se obvia la interferencia producida sobre el anillo interior de la *EB0* a partir del tercer anillo celular que rodea su región de cobertura, frente a la suma de las contribuciones de potencia interferente de las Estaciones Base de las células de los dos primeros anillos. De este modo, se considera significativa la contribución de 18 Estaciones Base Interferentes sobre el anillo interior de la *EB0*, en consonancia con el criterio aplicado en los escenarios F y G (que a su vez, mantienen la coherencia con el criterio aplicado en los escenarios A y D).

En cuanto al borde exterior de la célula *EB0* del escenario H, se ha considerado la interferencia del anillo celular más cercano (6 Estaciones Base Interferentes), coherentemente con el criterio aplicado en los escenarios B, C, G, I y J.

Por último, conviene subrayar la diferencia en el Número de Subbandas N_{Sub} empleado por los distintos escenarios, en que va a quedar repartido (por igual) el Ancho de Banda Disponible del Enlace de Red B_{disp} :

- Reutilización Celular Monobanda: $N_{Sub}= 1$
- Reutilización Celular Tribanda: $N_{Sub}= 3$
- Reutilización Celular Heptabanda: $N_{Sub}= 7$
- Reutilización Sectorial Tribanda: $N_{Sub}= 3$
- Reutilización Sectorial Tetrabanda: $N_{Sub}= 4$
- Reutilización FFR Bibanda: $N_{Sub}= 2$
- Reutilización FFR 3+1: $N_{Sub}= 4$
- Reutilización FFR 7+1: $N_{Sub}= 8$
- Reutilización FFR 3+3: $N_{Sub}= 6$
- Reutilización FFR 7+3: $N_{Sub}= 10$

3.2. PARÁMETROS DE TRABAJO

Los **Parámetros de Trabajo** empleados en las simulaciones de este capítulo son los siguientes, cuyos valores están basados, en buena medida, en una combinación de los incluidos en las recomendaciones GSM 03.03 [3] y GSM 05.05 [4]:

Parámetros Fijos:

Potencia Isotrópica Radiada Equivalente: $PIRE=53$ dBm
 Ganancia de la Antena del Terminal Móvil: $G_m=0$ dB
 Ancho de Banda Disponible del Enlace de Red³²: $B_{disp}=100$ MHz
 Factor de Ruido del Receptor del Terminal Móvil: $F=10$ dB
 Factor de Ruido de la Antena del Terminal Móvil: $F_{ant}=10$ dB

Parámetros Variables:

Radio de Cobertura de las Células: $r \in \{3 \text{ Km}, 200 \text{ m}\}$
 Radio de Cobertura del Anillo Interior: $r_0 = r/2$
 Ancho de Banda del Canal³³ de Trabajo: $B_{eq} = \{5 \text{ MHz}, B_{max}\}$
 Donde B_{max} es el máximo ancho de banda asignable al canal de trabajo: $B_{max} = B_{disp}/N_{Sub}$
 Coeficiente de Pérdidas: $n \in \{1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4\}$
 Distancia de Referencia del Modelo Log-Distancia:
 $d_0 \in \{100 \text{ metros}, 10 \text{ metros}\} \quad / \quad d_0=100 \text{ m} \Leftrightarrow r = 3\text{Km}$
 $d_0 = 10 \text{ m} \Leftrightarrow r = 200\text{m}$
 Frecuencia Central del Canal de Trabajo:

- Con Reutilización Celular: 1800 MHz
- Con Reutilización Sectorial:
 - Sector 1: 1800 MHz
 - Resto sectores: ~ 1800 MHz
(Dado que se extrapolan los resultados del sector 1 al conjunto de la célula)
- Con Reutilización FFR:
 - Anillo Interior: 1800 MHz
 - Borde Exterior : $(1900 - B_{disp}/N_{Sub})$ MHz

 Tipos de Distribución de Población consideradas:
 \Rightarrow Población Uniformemente Distribuida (o Distribución de Población Uniforme en Posición)
 \Rightarrow Distribución de Población Uniforme en Distancia

³² Se refiere al ancho de banda de la red reservado para el enlace descendente.

³³ Se refiere al ancho de banda de un radiocanal, que se asimilará al ancho de banda equivalente de ruido del receptor del terminal móvil, a los efectos del cómputo de la potencia de ruido en el mismo. Cada subbanda podrá estar compuesta de uno o varios canales.

Valores Típicos de los Parámetros Variables:

Radio de Cobertura de las Células: $r = 3$ Km
 Radio de Cobertura del Anillo Interior: $r_0 = 1.5$ Km
 Coeficiente de Pérdidas: $n = 3$
 Ancho de Banda del Canal: $B_{eq} = 5$ MHz
 Distancia de Referencia del Modelo Log-Distancia: $d_0 = 100$ metros
 Tipo de Distribución de Población: Uniformemente Distribuida

3.3. CRITERIOS DE VALORACIÓN

Se presentan a continuación los criterios de valoración (o criterios de calidad) seleccionados para la evaluación de los escenarios, a fin de determinar las soluciones globalmente más ventajosas, tras el análisis posterior de los resultados:

- 1) $C_x / P_r (C \leq C_x) = 0.25$
- 2) $C_x / P_r (C \leq C_x) = 0.50$
- 3) $C_x / P_r (C \leq C_x) = 0.75$
- 4) $C_x / P_r (C \leq C_x) = 0.90$
- 5) $P_r (C > 10 \text{ Mbps})$
- 6) $P_r (C > 50 \text{ Mbps})$
- 7) $P_r (C > 100 \text{ Mbps})$
- 8) $P_r (C > 200 \text{ Mbps})$

- 9) $SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x) = 0.1$
- 10) $SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x) = 0.5$
- 11) $P_r (SINR > 0 \text{ dB})$
- 12) $P_r (SINR > 10 \text{ dB})$

- 13) N° de radiocanales/célula

Donde:

C : Capacidad Binaria Máxima del enlace de datos o Capacidad de Shannon³⁴, expresada en Mbps.

C_x : Representa un valor cualesquiera del rango de valores de C .

$SINR$: Relación Señal a Ruido más Interferencia, expresada en dB.

$SINR_x$: Representa un valor cualesquiera del rango de valores de la $SINR$.

Los criterios anteriores están planteados de modo que su valoración se haga siempre en el mismo sentido: un escenario será tanto mejor en un determinado criterio de calidad, conforme alcance un valor más alto en el mismo.

³⁴ $C [\text{bps}] = \log_2 (1 + SINR[\phi]) \cdot B_{eq} [\text{Hz}]$

Nótese que los ocho primeros están referidos a la velocidad o régimen binario del enlace de datos, mientras que los cuatro siguientes tienen directamente que ver con la prestación de cobertura de red.

La razón de que se haya planteado un número doble de criterios referidos al primer aspecto que al segundo responde a un doble motivo:

- 1º) La velocidad es una cualidad del enlace de datos fácilmente percibida y valorada por cualquier usuario.
- 2º) La medida de referencia en la que se han basado los criterios referidos al régimen binario es la Capacidad de Shannon, cuya expresión computa, además del ancho de banda del canal, el valor de SINR en la región de cobertura.

A pesar de que la velocidad del enlace de datos proporciona una medida de calidad directamente percibida por el usuario, y muy apreciada, no se ha querido basar la valoración únicamente en ese aspecto, dado que los criterios relativos al mismo asumen o parten de la base de que hay cobertura, por muy bajo que sea el valor de $C[Mbps]$, cuestión que no tiene por qué ser cierta. Por otra parte, más allá de las tasas de transmisión elevadas, el usuario también percibe si una comunicación de voz no se entiende con claridad o se entrecorta.

Por estas razones, se incluyen también criterios de valoración directamente relacionados con la cobertura de red, si bien, en la proporción indicada, por los motivos antes comentados.

Finalmente, se estimó conveniente la inclusión de un criterio adicional determinístico, estrechamente relacionado con la capacidad de acceso simultáneo de usuarios a la red, que contemplase la asignación de ancho de banda de red a la célula y la gestión del mismo que efectúa, en las distintas condiciones de trabajo establecidas. De este modo, este criterio, junto con los cuatro anteriores, completaría un grupo de criterios relativos a la disponibilidad del servicio.

Por sencillez y para mayor claridad, en todo momento se aplicará redondeo al segundo decimal, estimándose que, en lo referente al muestreo de resultados con los criterios de valoración aplicados, dos decimales aportan la precisión necesaria, tanto de aquéllos resultados concernientes a evaluación de probabilidades, como de aquéllos otros relativos a magnitudes expresadas en dB o en Mbps.

3.4. EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS

En este apartado se va a efectuar la toma de resultados estadísticos concernientes a la distribución de probabilidad de SINR y de la Capacidad Máxima del radiocanal en la célula: $CDF(SINR)$ ó $CDF(C)$.

En el caso particular de los escenarios basados en reutilización sectorial, los datos obtenidos en el *Sector 1* serán tomados directamente como representativos de la célula en su conjunto.

Se incluyen las gráficas de dichas funciones para los distintos valores del coeficiente de pérdidas, que muestran el comportamiento completo de los escenarios.

Por otra parte, las gráficas se acompañan de *Tablas de Evaluación*, que expresan cuantitativamente las características de las diferentes curvas, en base a los criterios de valoración establecidos en el apartado anterior, posibilitando el cómputo llevado a cabo en el Análisis de Resultados posterior.

En la Tabla de Evaluación de cada escenario se incluyen los resultados obtenidos para un conjunto de valores del coeficiente de pérdidas n , si bien, se muestran sombreadas las columnas de datos correspondientes a aquellos valores del mismo de interés para el análisis posterior.

3.4.1. Primera Aproximación (Exhaustiva)

Bajo esta aproximación, se va a computar **por igual**, en cada zona de la región de cobertura de la *EB0*, la contribución de todas aquellas Estaciones Base Interferentes que se determinen en base a un criterio general de máxima distancia de la zona afectada.

3.4.1.1. Asignación de Máximo Ancho de Banda al Radiocanal

Este criterio identifica subbanda con radiocanal de trabajo. Es decir, supone que cada subbanda consta de un único radiocanal, que recibe el máximo ancho de banda de red que permite el escenario:

$$B_{max} = B_{disp}/N_{Sub}$$

Donde:

B_{max} : Máximo Ancho de Banda asignable al canal de trabajo.

B_{disp} : Ancho de Banda Disponible del Enlace de Red.

N_{Sub} : Número de Subbandas.

Nótese que bajo este criterio se evalúan los escenarios en desigualdad de condiciones de ancho de banda del radiocanal de trabajo, permitiendo comparar, no obstante, las prestaciones operando al máximo régimen binario de cada uno.

3.4.1.1.1. Población Uniformemente Distribuida

a) Reutilización Celular Monobanda

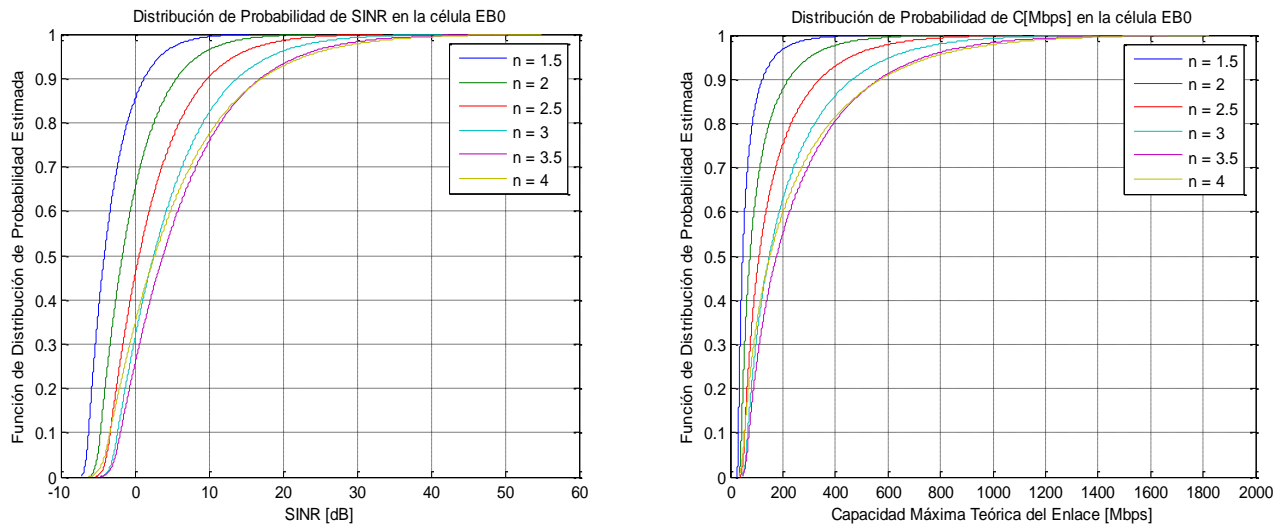


Figura de Evaluación 1: Curvas de CDF($SINR[dB]$) y CDF($R[Mbps]$)
(Reutilización Celular Monobanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

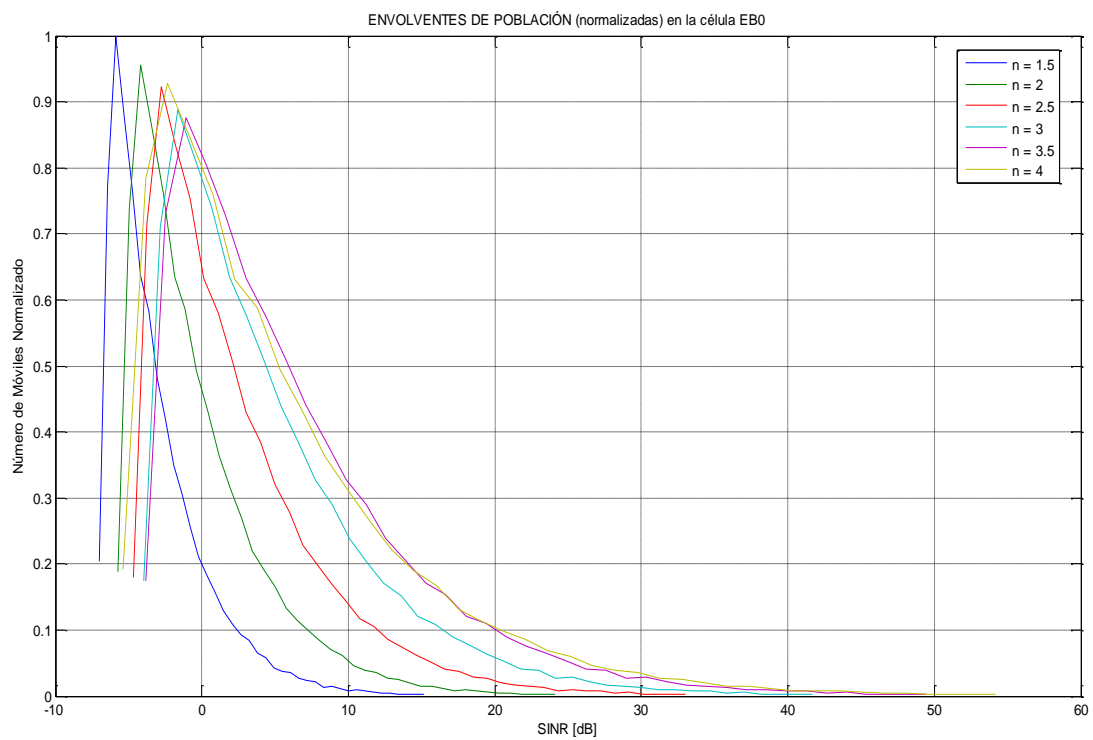


Figura de Evaluación 2: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Monobanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	35.27	51.32	69.83	88.48	99.29	78.90
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	47.22	74.96	110.09	148.94	177.06	151.67
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	73.76	128.26	198.84	276.90	338.50	319.40
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	122.54	222.00	342.10	467.11	568.58	574.25
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.46	0.77	0.95	0.99	0.99	0.94
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.15	0.35	0.55	0.69	0.75	0.66
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.03	0.12	0.25	0.37	0.45	0.40
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-6.25	-4.65	-3.33	-2.33	-1.94	-3.36
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-4.12	-1.67	0.59	2.57	3.82	2.70
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.15	0.35	0.55	0.69	0.75	0.66
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.01	0.04	0.10	0.18	0.24	0.23

Tabla de Evaluación 1:

Reutilización Celular Monobanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

b) Reutilización Celular Tribanda

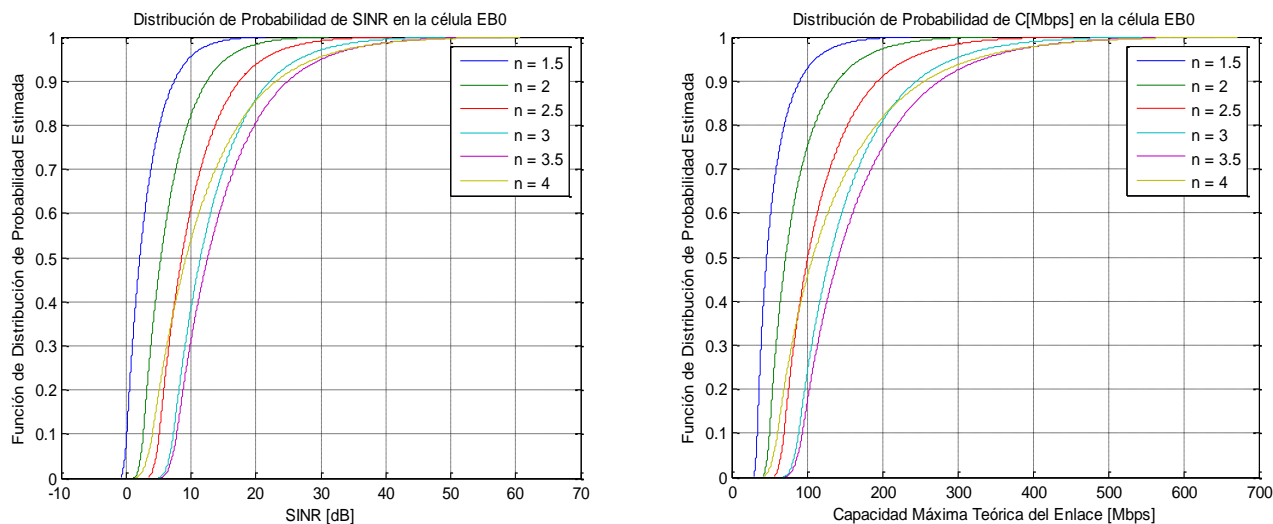


Figura de Evaluación 3: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
 (Reutilización Celular Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

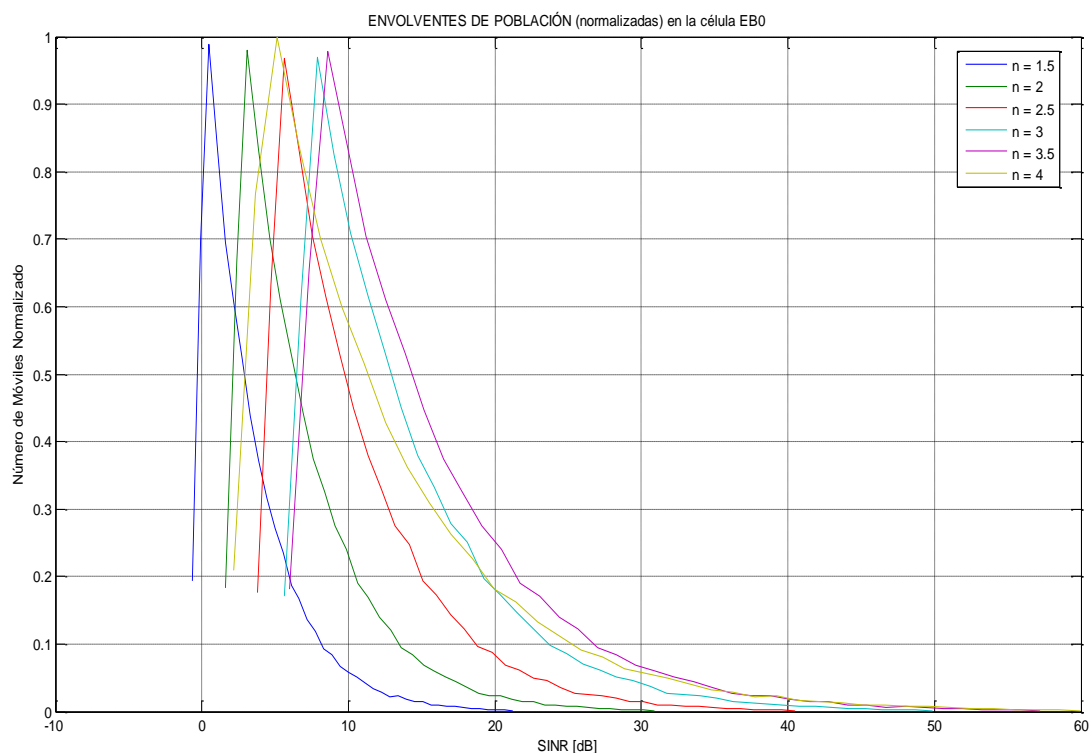


Figura de Evaluación 4: Comparativa de Envolventes de Población de SINR (Reutilización Celular Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	37.64	56.57	79.00	101.50	108.40	74.38
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	46.58	71.83	101.22	130.42	142.00	108.04
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	64.09	100.56	141.21	180.83	200.71	171.54
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	90.35	141.04	194.86	246.65	277.39	257.74
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.43	0.91	1.00	1.00	1.00	0.98
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.07	0.25	0.51	0.77	0.84	0.55
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.00	0.03	0.09	0.19	0.25	0.18
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.12	2.66	5.13	7.30	7.83	4.08
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.13	5.38	8.58	11.48	12.59	9.27
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.18	0.39	0.62	0.69	0.46

Tabla de Evaluación 2:
Reutilización Celular Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

c) Reutilización Celular Heptabanda

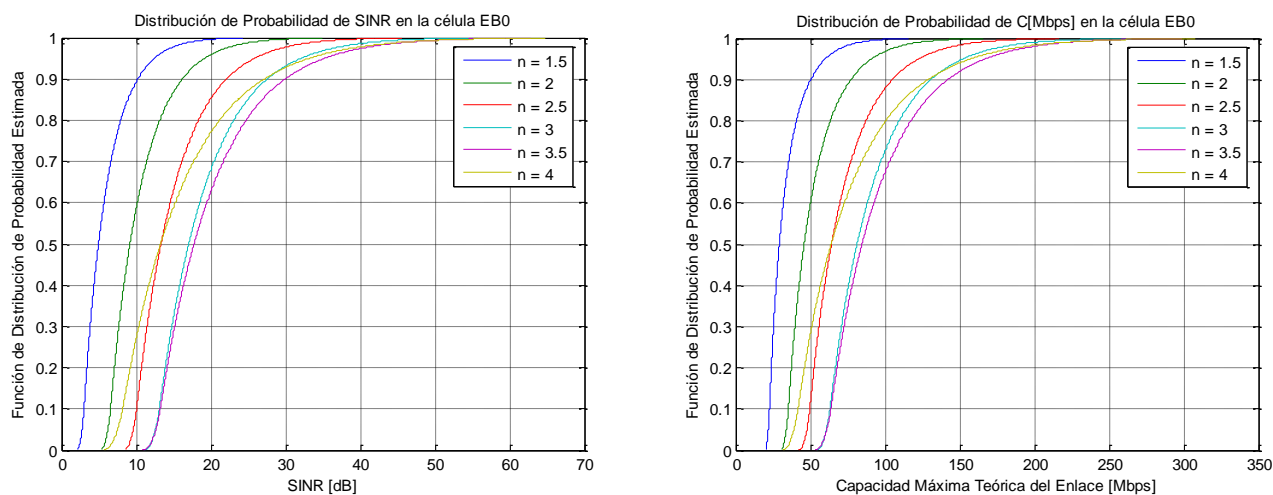


Figura de Evaluación 5: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Celular Heptabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

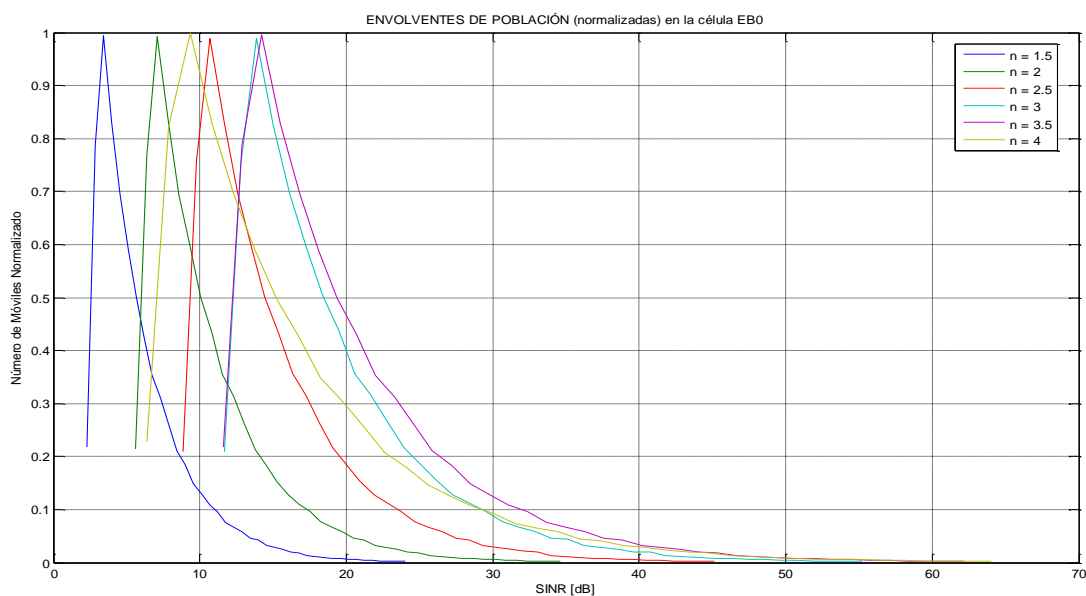
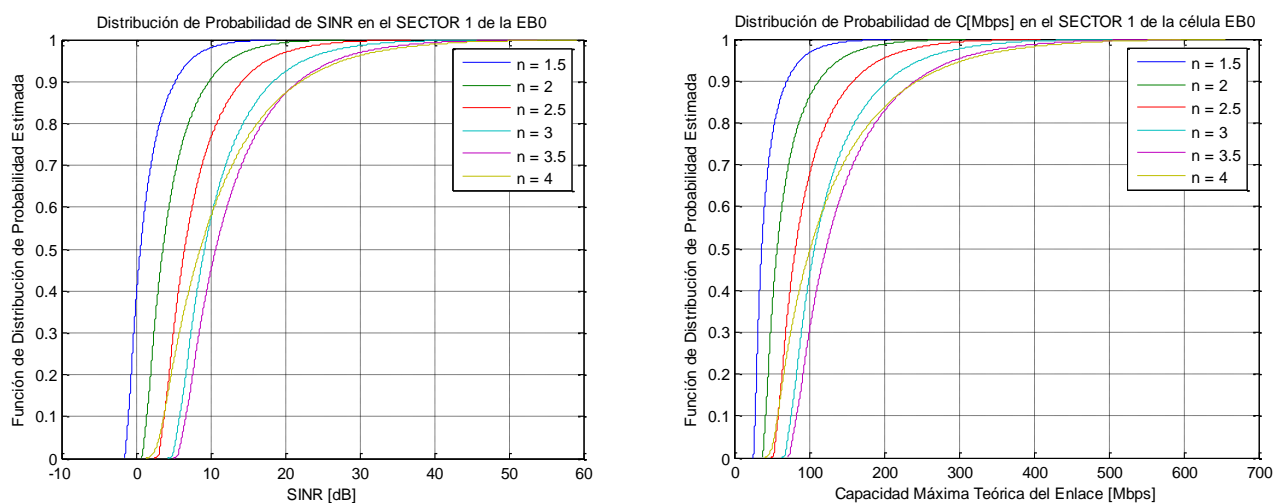
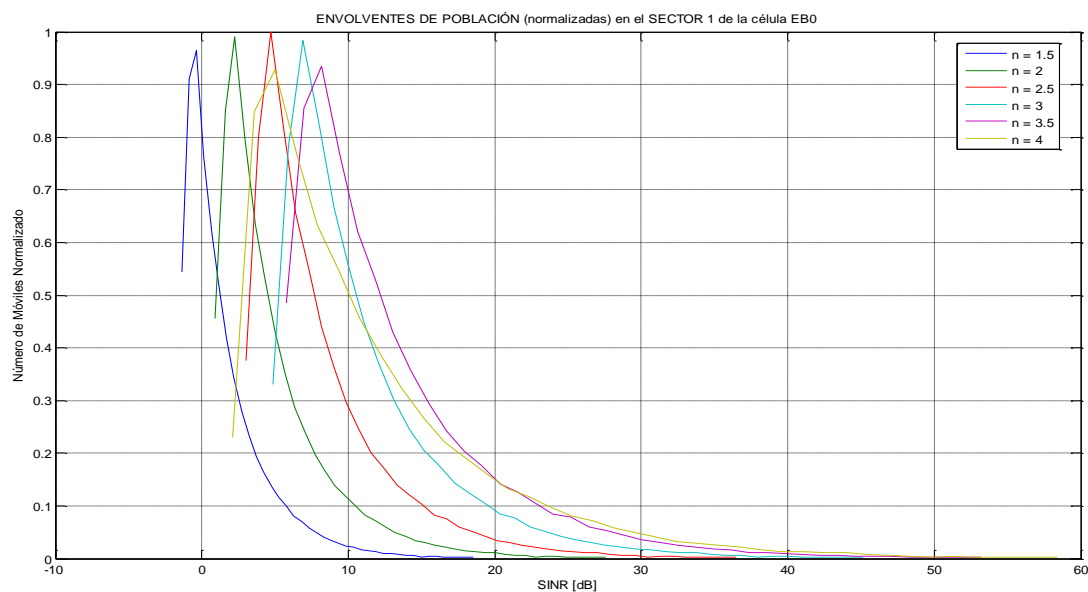


Figura de Evaluación 6: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Heptabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	24.56	38.40	54.05	68.68	70.09	48.34
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	29.19	45.83	64.17	81.24	84.57	63.93
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	37.82	59.09	81.71	102.71	109.44	91.68
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	50.33	77.36	105.21	131.14	142.52	129.23
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.10	0.40	0.89	1.00	1.00	0.72

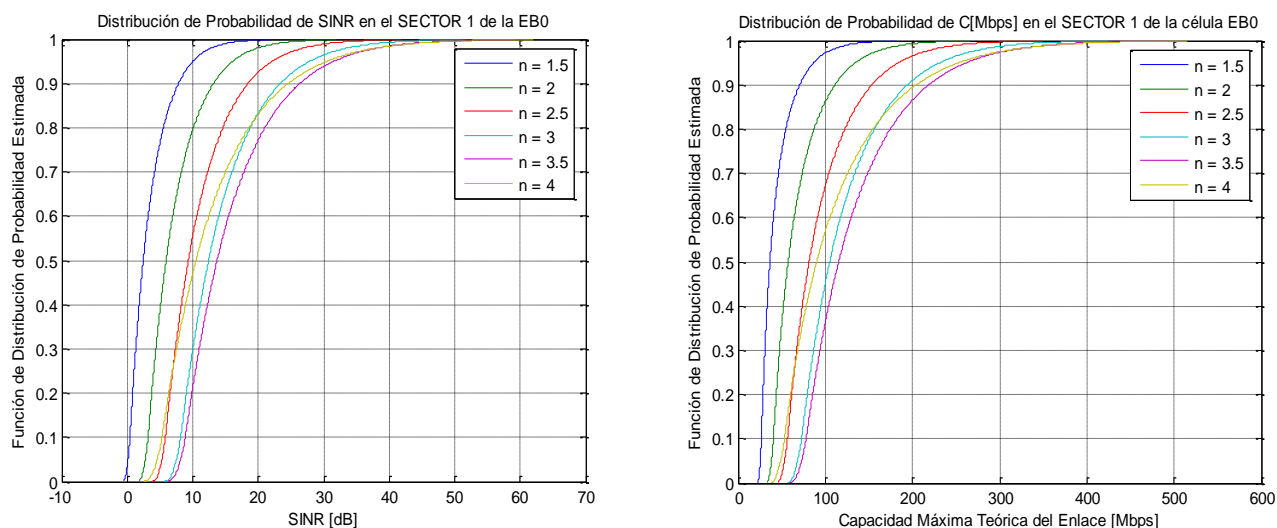
$P_r(C > 100 \text{ Mbps})$	0.00	0.03	0.12	0.27	0.32	0.20
$P_r(C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.01	0.02	0.02
$SINR_x / P_r(SINR \leq SINR_x) = 0.1$	3.00	6.55	10.05	13.09	13.23	8.19
$SINR_x / P_r(SINR \leq SINR_x) = 0.5$	4.94	9.16	13.32	17.03	17.75	13.27
$P_r(SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r(SINR > 10 \text{ dB})$	0.11	0.41	0.91	1.00	1.00	0.73

Tabla de Evaluación 3:Reutilización Celular Heptabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$.**d) Reutilización Sectorial Tribanda****Figura de Evaluación 7:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Sectorial Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$).**Figura de Evaluación 8:** Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Sectorial Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	30.71	46.88	66.33	86.48	95.91	70.66
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	36.74	57.40	81.93	107.30	122.60	101.77
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	49.27	78.76	112.49	146.82	171.85	160.96
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	70.57	113.23	159.48	205.52	242.65	245.64
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.24	0.66	1.00	1.00	1.00	0.98
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.03	0.14	0.33	0.57	0.70	0.51
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.00	0.01	0.05	0.11	0.17	0.16
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.03	1.43	3.78	5.85	6.68	3.73
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	0.60	3.61	6.53	9.20	10.72	8.63
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.02	0.09	0.24	0.43	0.56	0.42

Tabla de Evaluación 4:Reutilización Sectorial Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

e) Reutilización Sectorial Tetrabanda

**Figura de Evaluación 9:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Sectorial Tetrabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

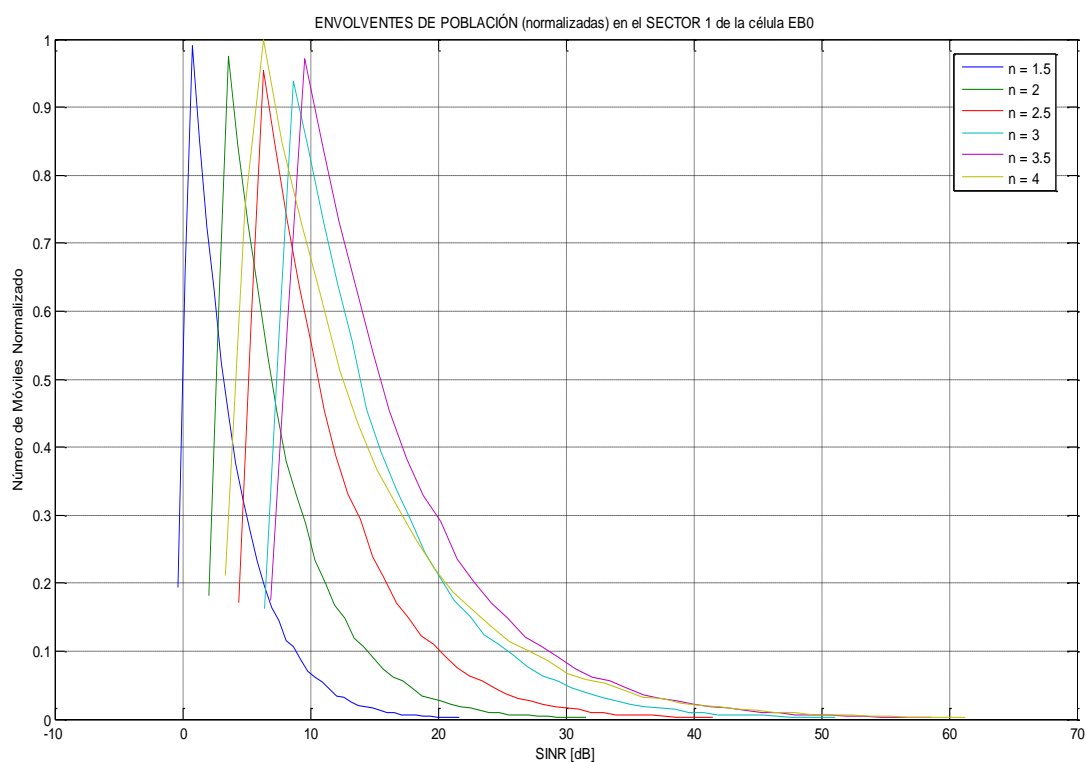


Figura de Evaluación 10: Comparativa de Envolventes de Población de SINR (Reutilización Sectorial Tetrabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	29.63	45.61	64.32	82.91	89.66	64.18
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	36.54	57.51	81.56	105.24	115.50	90.30
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	50.16	79.84	112.46	144.05	160.54	139.04
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	70.56	111.19	153.87	194.75	219.32	204.70
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.25	0.64	0.98	1.00	1.00	0.94
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.03	0.14	0.33	0.55	0.64	0.43
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0.01	0.03	0.09	0.14	0.11
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.41	3.17	5.81	8.14	8.86	5.30
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.44	5.94	9.34	12.43	13.73	10.50
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.20	0.45	0.70	0.79	0.53

Tabla de Evaluación 5:
Reutilización Sectorial Tetrabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

f) Reutilización FFR Bibanda

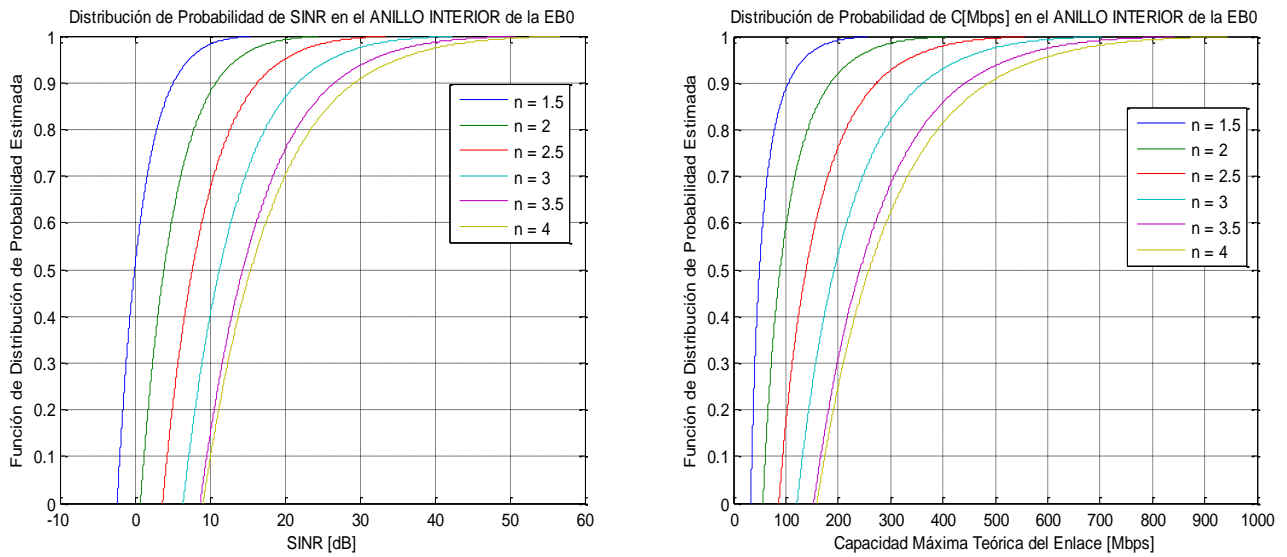


Figura de Evaluación 11: Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Anillo Interior en Reutilización FFR Bibanda, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	39.36	69.07	107.46	150.45	189.90	200.38
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	49.67	89.20	138.80	192.69	241.79	258.92
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	70.80	128.28	195.92	266.19	329.90	358.79
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	104.62	185.42	273.84	362.63	443.55	488.09
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.11	0.41	0.83	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.01	0.08	0.24	0.47	0.69	0.75
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-2.01	1.22	4.30	7.19	9.59	10.09
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-0.04	3.88	7.67	11.29	14.40	15.47
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.02	0.12	0.33	0.60	0.86	0.91

Tabla de Evaluación 6:
Anillo Interior en Reutilización FFR Bibanda, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

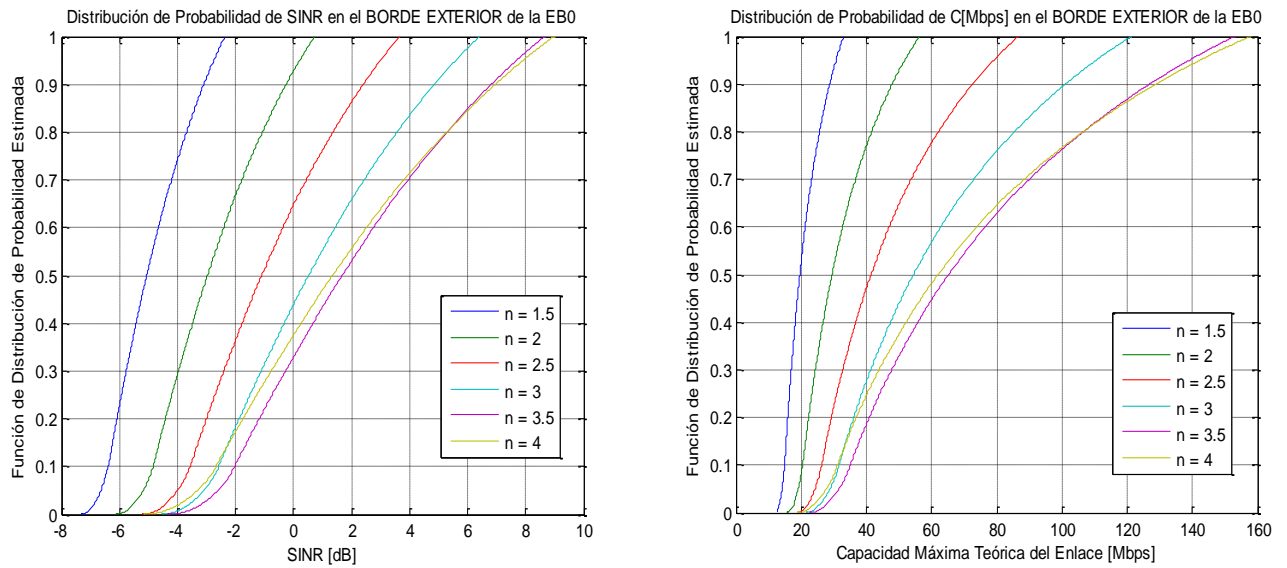


Figura de Evaluación 12: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Borde Exterior en Reutilización FFR Bibanda, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	16.40	23.27	30.93	38.55	44.09	40.19
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	19.59	29.49	41.45	54.46	65.31	62.11
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	24.37	39.01	57.72	79.01	98.01	97.13
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	28.77	47.86	72.71	101.16	127.05	128.95
$P_r (C >10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C >50 \text{ Mbps})$	0	0.07	0.35	0.56	0.67	0.62
$P_r (C >100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0.11	0.24	0.23
$P_r (C >200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-6.39	-4.84	-3.56	-2.58	-2.03	-2.68
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-5.06	-2.97	-1.10	0.52	1.68	1.35
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0	0.07	0.35	0.56	0.67	0.62
$P_r (SINR >10 \text{ dB})$	0	0	0	0	0	0

Tabla de Evaluación 7:
Borde Exterior en Reutilización FFR Bibanda, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

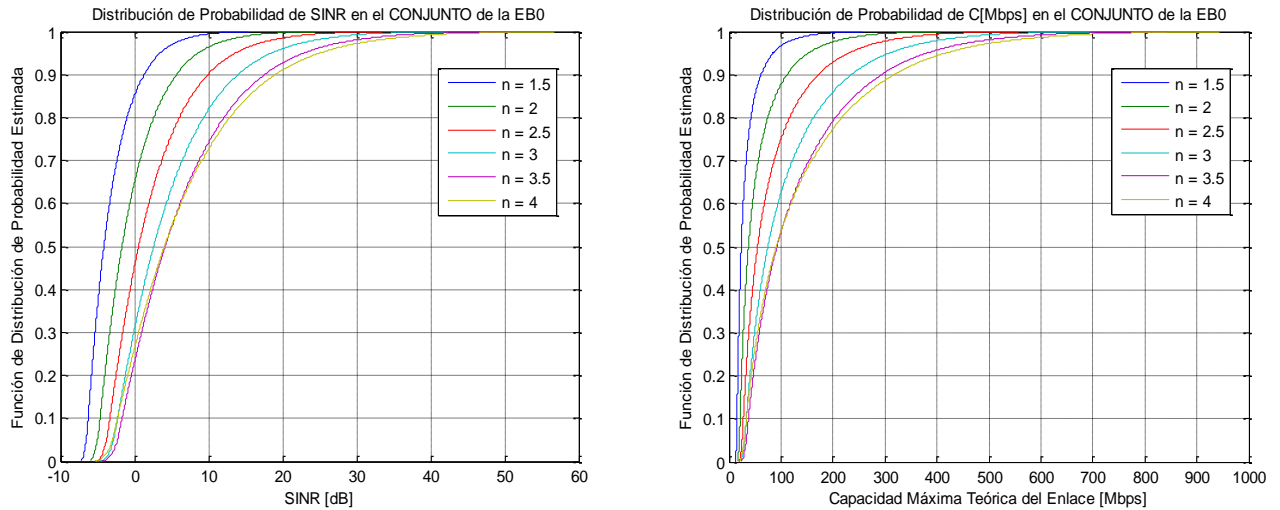


Figura de Evaluación 13: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

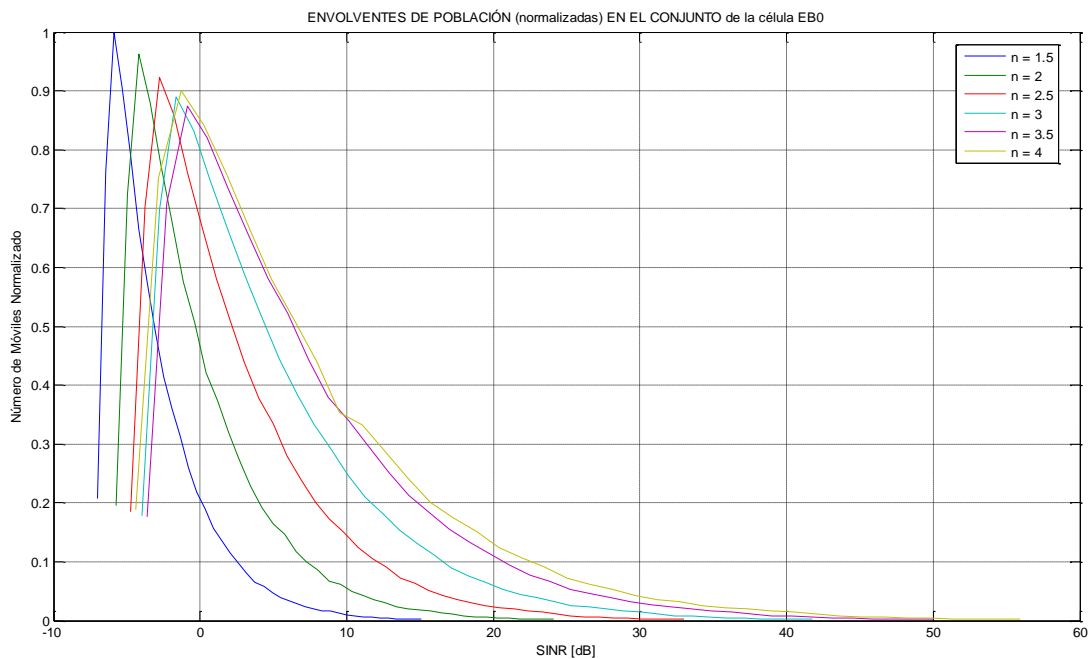


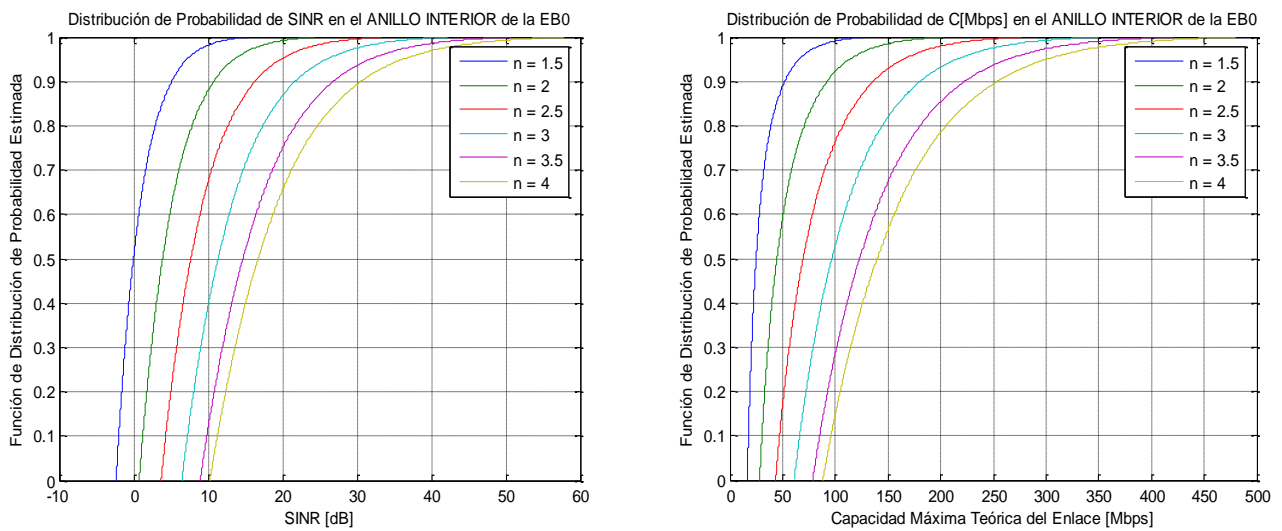
Figura de Evaluación 14: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	17.66	25.72	35.04	44.74	52.29	48.55
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	23.55	37.36	54.89	74.78	92.41	91.07
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	37.03	64.45	100.05	140.18	177.07	185.94
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	61.72	111.85	172.42	236.36	294.38	318.49

$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.15	0.35	0.55	0.69	0.77	0.74
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.03	0.12	0.25	0.38	0.47	0.46
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.00	0.02	0.07	0.14	0.21	0.23
$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x)=0.1$	-6.26	-4.65	-3.33	-2.28	-1.67	-2.28
$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x)=0.5$	-4.13	-1.68	0.57	2.60	4.15	4.04
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$	0.15	0.35	0.55	0.69	0.77	0.74
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$	0.01	0.04	0.10	0.18	0.26	0.27

Tabla de Evaluación 8:Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$.

g) Reutilización FFR 3+1

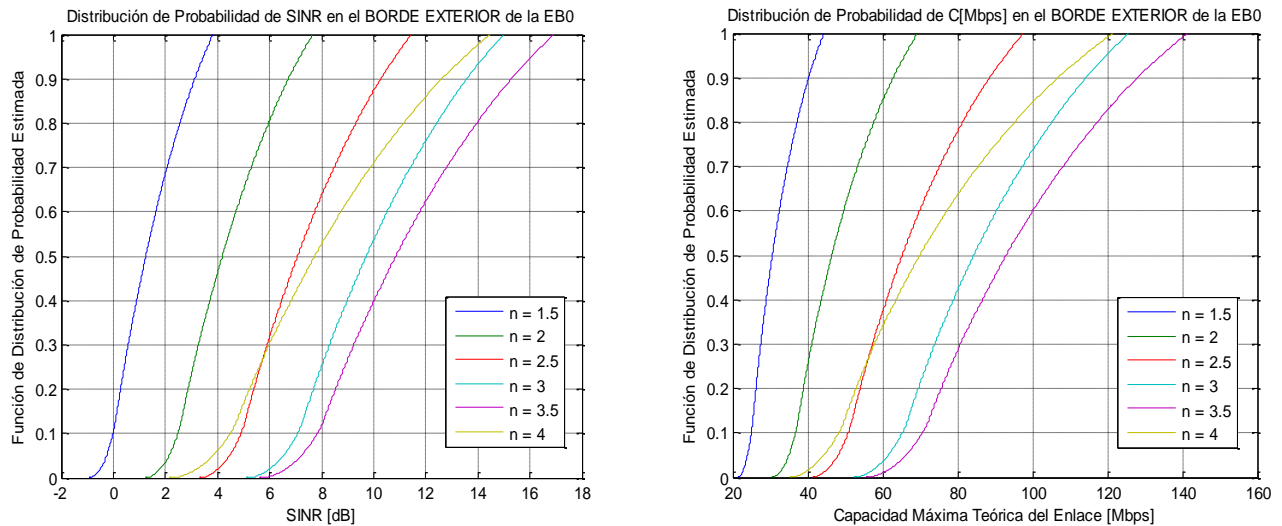
**Figura de Evaluación 15:** Curvas de $\text{CDF}(\text{SINR}[\text{dB}])$ y $\text{CDF}(R[\text{Mbps}])$ (Anillo Interior en Reutilización FFR 3+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	19.69	34.55	53.79	75.54	96.97	109.56
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	24.88	44.68	69.56	96.81	123.24	139.75
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	35.20	63.79	97.50	132.80	166.52	189.25
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	51.91	92.07	136.11	180.61	222.94	253.67
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.11	0.41	0.83	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.01	0.08	0.24	0.47	0.71	0.85
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.02	0.07	0.15	0.21
$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x)=0.1$	-2.01	1.22	4.30	7.22	9.83	11.25

$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-0.03	3.89	7.69	11.35	14.69	16.74
$P_r (SINR > 0 \text{ Db})$	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ Db})$	0.02	0.12	0.33	0.61	0.88	1.00

Tabla de Evaluación 9:

Anillo Interior en Reutilización FFR 3+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

**Figura de Evaluación 16:** Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Borde Exterior en Reutilización FFR 3+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	26.80	39.95	55.60	71.65	78.11	55.28
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	30.56	46.45	65.22	84.34	92.98	69.91
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	35.84	55.40	78.14	101.08	112.59	90.24
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	40.27	62.77	88.54	114.32	128.08	106.88
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.39	0.92	1.00	1.00	0.87
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0.26	0.40	0.16
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-0.01	2.48	4.90	7.08	7.84	4.49
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	1.25	4.19	7.07	9.72	10.85	7.74
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0	0	0.13	0.46	0.60	0.29

Tabla de Evaluación 10:

Borde Exterior en Reutilización FFR 3+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

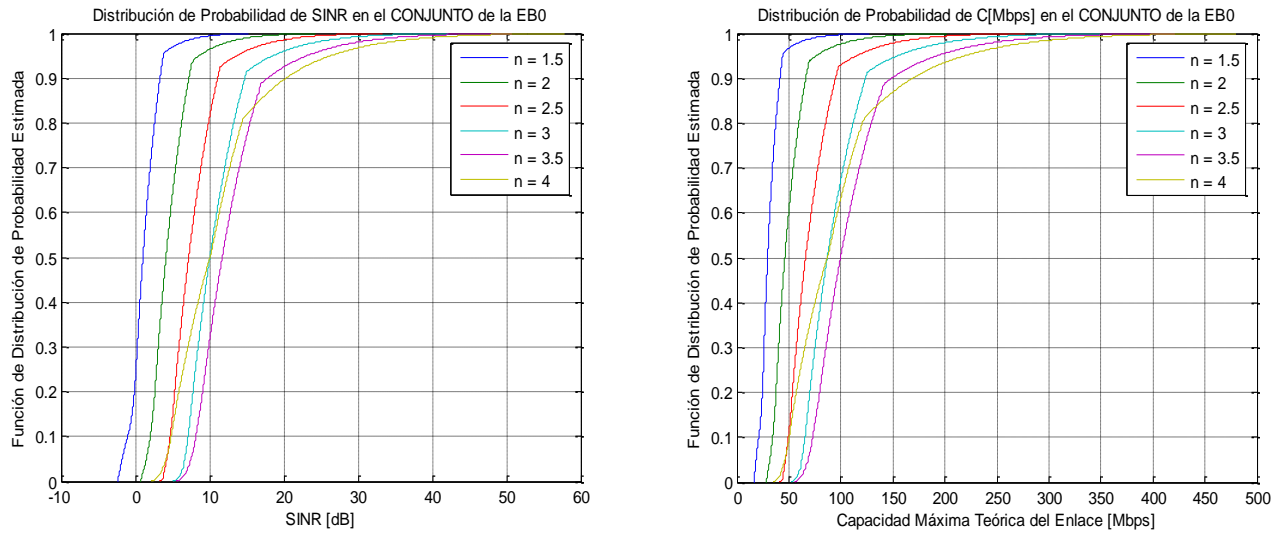


Figura de Evaluación 17: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

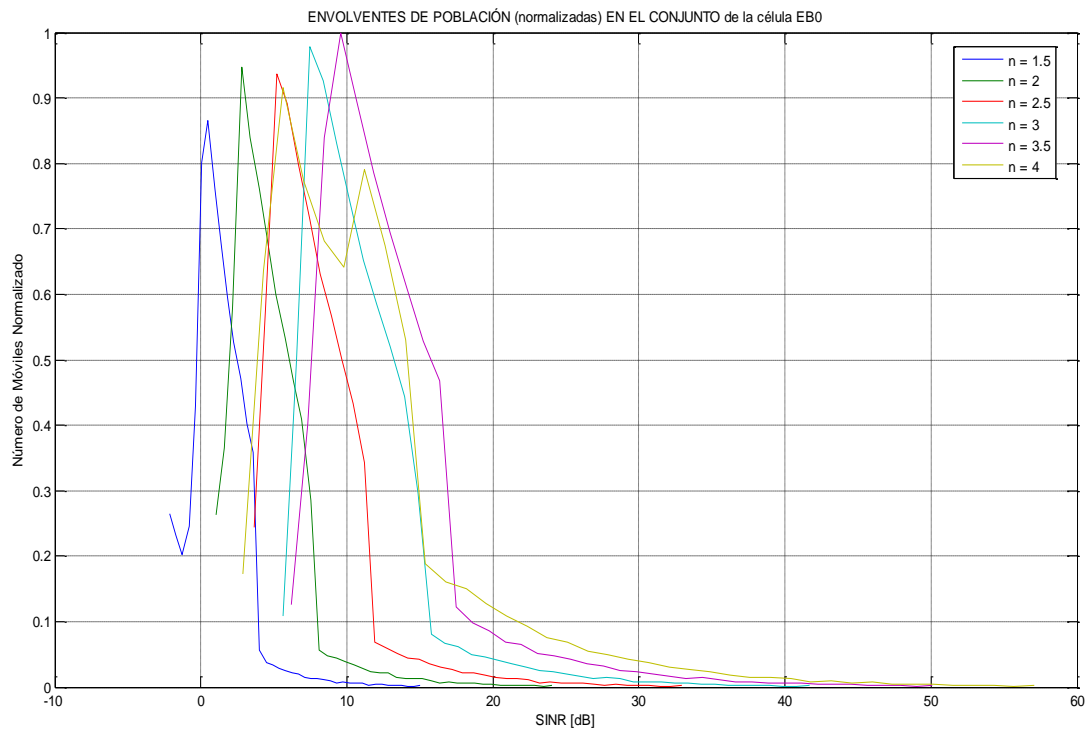


Figura de Evaluación 18: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	25.42	38.81	55.20	72.55	82.51	61.06
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	29.54	46.09	66.04	86.90	99.66	87.10
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	35.74	56.74	81.46	106.88	123.37	113.76
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	41.48	66.29	94.91	123.94	149.34	169.63
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.03	0.39	0.89	1.00	1.00	0.91
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.00	0.02	0.07	0.33	0.50	0.37
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.01	0.02	0.04	0.07
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.01	2.02	4.70	7.12	8.16	4.84
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	1.03	4.13	7.19	10.05	11.72	10.08
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.78	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.01	0.04	0.19	0.51	0.69	0.50

Tabla de Evaluación 11:
Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

h) Reutilización FFR 7+1

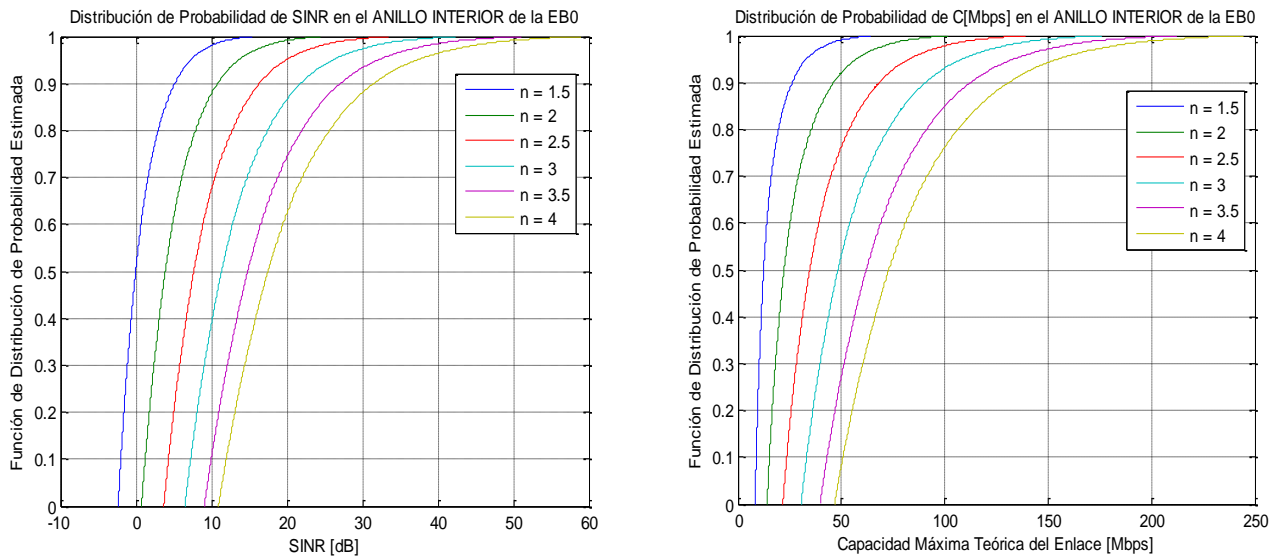


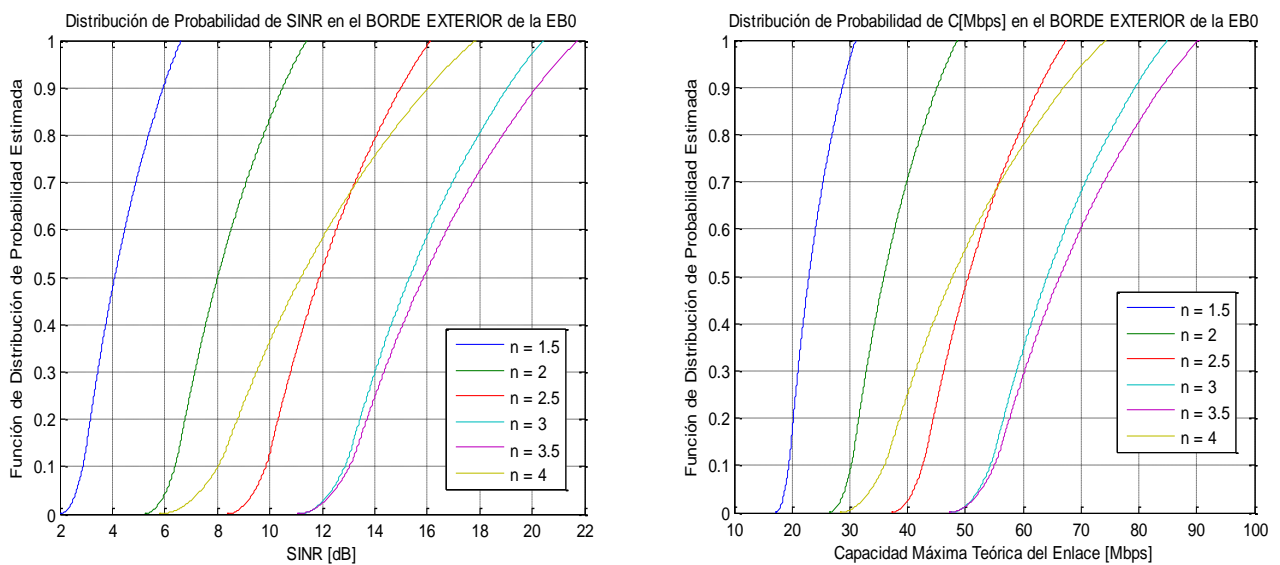
Figura de Evaluación 19: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Anillo Interior en Reutilización FFR 7+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	9.85	17.29	26.93	37.87	49.03	57.77
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	12.41	22.30	34.72	48.39	62.08	72.96
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	17.65	31.99	48.89	66.64	84.06	98.28
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	26.19	46.41	68.56	91.00	112.82	131.21

$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.73	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.01	0.08	0.24	0.47	0.73	0.92
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.02	0.07	0.15	0.24
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0.00	0.01
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-2.01	1.22	4.31	7.24	9.96	11.96
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-0.04	3.88	7.68	11.35	14.81	17.49
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.02	0.12	0.32	0.61	0.90	1.00

Tabla de Evaluación 12:

Anillo Interior en Reutilización FFR 7+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$.

**Figura de Evaluación 20:** Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Borde Exterior en Reutilización FFR 7+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	20.63	32.20	45.35	57.72	58.92	39.96
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	22.93	35.94	50.51	64.18	66.34	47.80
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	26.14	41.05	57.43	72.73	76.22	58.56
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	28.75	45.10	62.83	79.37	83.90	67.08
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.52	0.99	0.99	0.44
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	2.88	6.39	9.84	12.86	13.04	8.02

$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x) = 0.5$	4.09	8.02	11.89	15.33	15.87	11.19
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$	0	0.17	0.87	1.00	1.00	0.64

Tabla de Evaluación 13:

Borde Exterior en Reutilización FFR 7+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

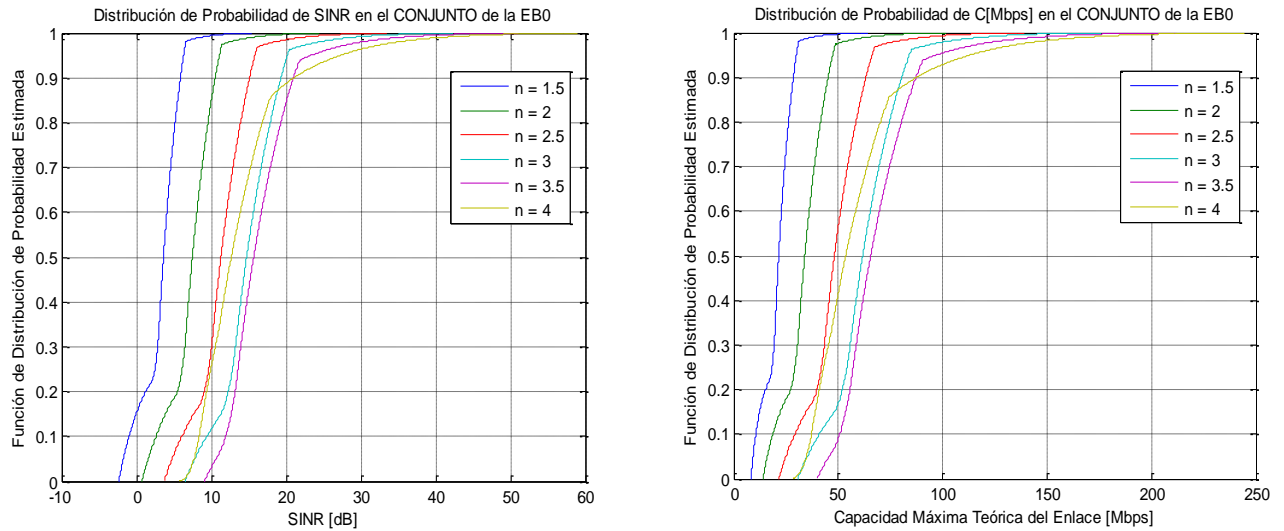


Figura de Evaluación 21: Curvas de $\text{CDF}(\text{SINR}[\text{dB}])$ y $\text{CDF}(R[\text{Mbps}])$
(Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

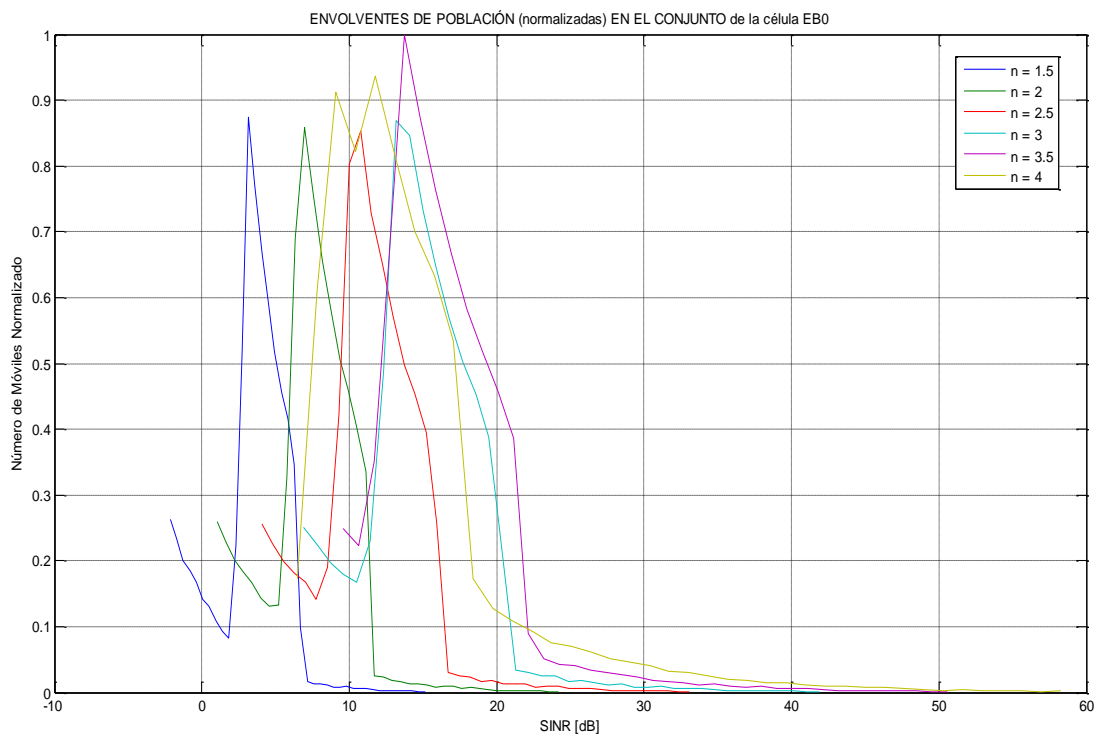
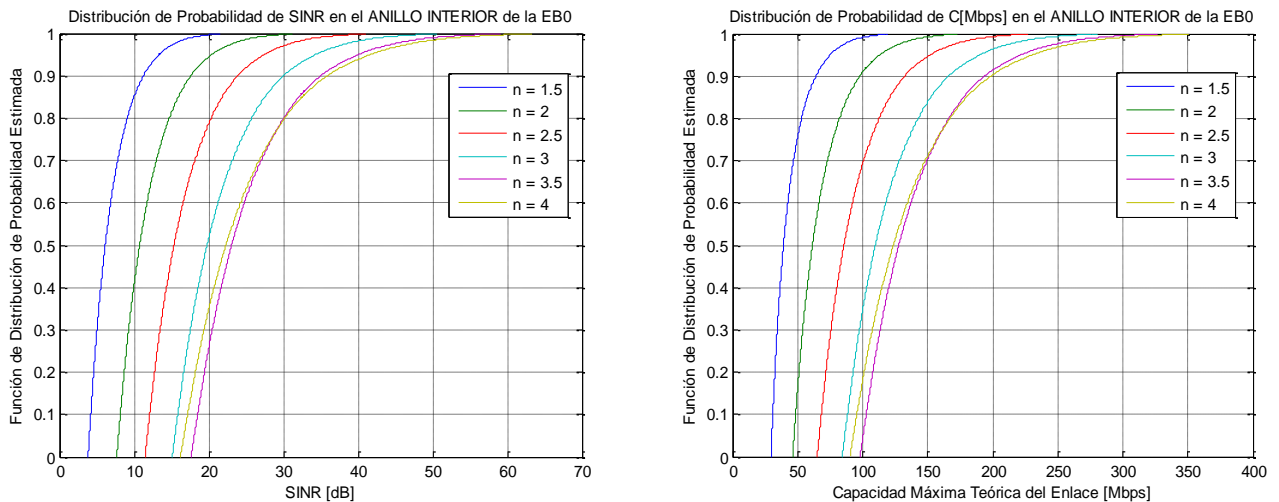


Figura de Evaluación 22: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	18.36	29.31	41.97	54.24	57.11	43.03
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	21.50	33.98	48.17	61.74	65.58	53.62
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	25.24	40.01	56.39	71.97	77.39	66.89
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	28.57	45.20	63.32	80.45	87.26	87.65
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.00	0.02	0.44	0.83	0.91	0.59
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.01	0.02	0.05	0.07
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0.00	0.00
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-0.98	2.61	6.07	9.39	11.95	8.37
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	3.61	7.47	11.29	14.72	15.68	12.68
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.01	0.15	0.71	0.88	0.97	0.75

Tabla de Evaluación 14:Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

i) Reutilización FFR 3+3

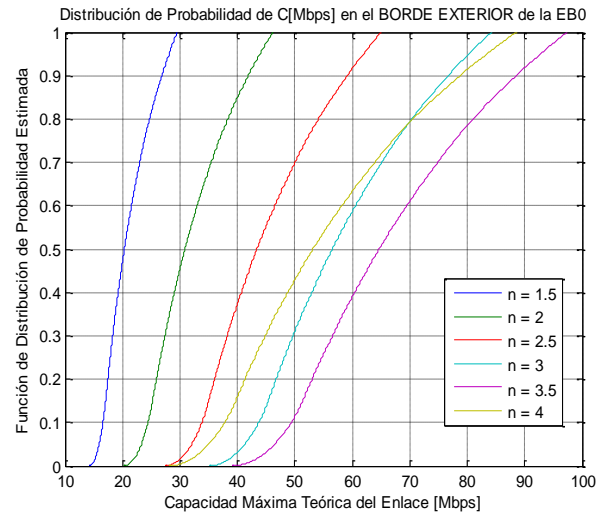
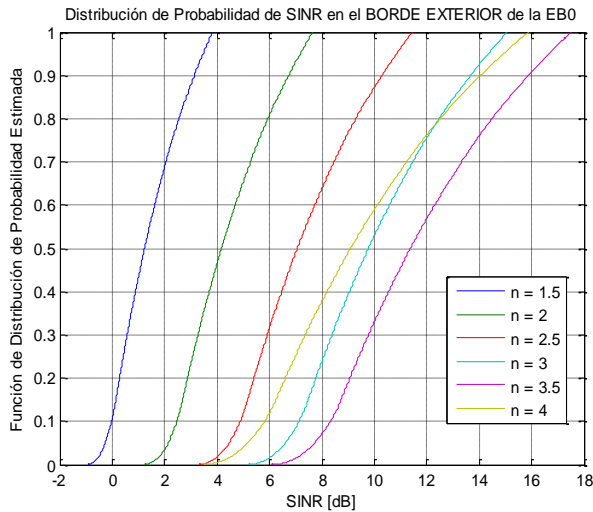
**Figura de Evaluación 23:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$ (Anillo Interior en Reutilización FFR 3+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	33.41	52.47	73.65	95.02	110.59	104.23
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	39.13	61.38	85.55	109.68	127.76	123.55
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	49.73	77.27	106.27	134.91	157.25	156.95

$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	64.03	97.80	132.48	166.56	194.18	199.01
$P_r (C >10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C >50 \text{ Mbps})$	0.25	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C >100 \text{ Mbps})$	0.01	0.09	0.31	0.65	0.96	0.82
$P_r (C >200 \text{ Mbps})$	0	0	0.01	0.04	0.09	0.10
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	4.19	8.15	12.08	15.85	18.50	17.17
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	6.12	10.73	15.33	19.76	23.05	22.29
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR >10 \text{ dB})$	0.15	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 15:

Anillo Interior en Reutilización FFR 3+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$.

**Figura de Evaluación 24:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Borde Exterior en Reutilización FFR 3+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	17.87	26.64	37.12	48.18	54.73	43.03
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	20.32	30.87	43.38	56.48	64.62	53.12
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	23.80	36.79	51.93	67.58	77.79	67.07
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	26.86	41.89	59.13	76.76	88.61	78.84
$P_r (C >10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C >50 \text{ Mbps})$	0	0	0.30	0.69	0.89	0.57
$P_r (C >100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C >200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-0.02	2.46	4.88	7.12	8.32	5.81

$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x)=0.5$	1.23	4.17	7.05	9.76	11.37	9.09
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$	0	0	0.13	0.47	0.67	0.41

Tabla de Evaluación 16:

Borde Exterior en Reutilización FFR 3+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

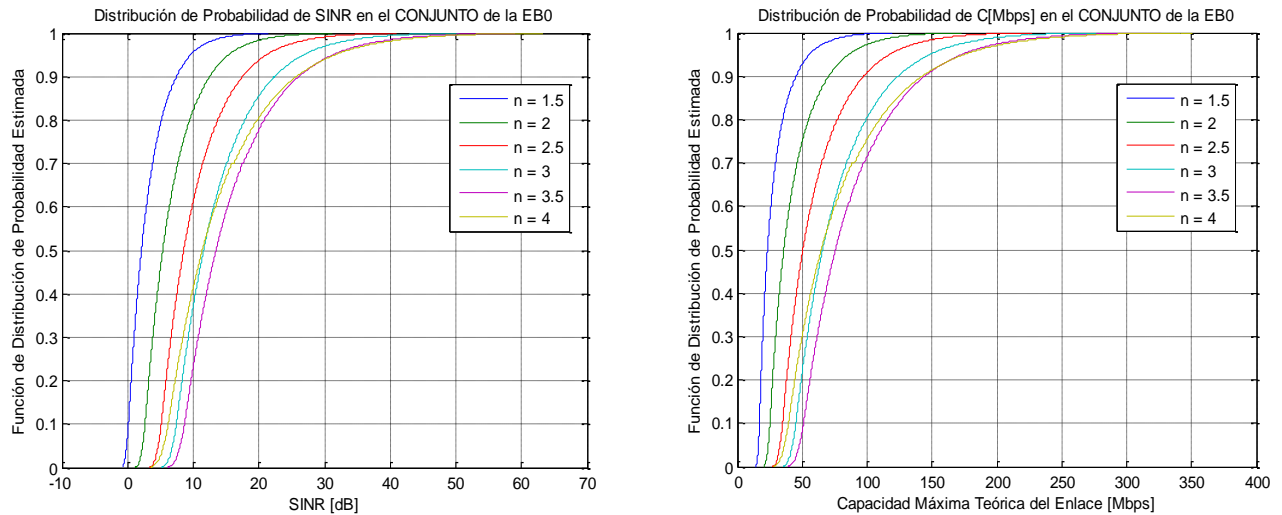


Figura de Evaluación 25: Curvas de $\text{CDF}(\text{SINR}[\text{dB}])$ y $\text{CDF}(R[\text{Mbps}])$
(Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

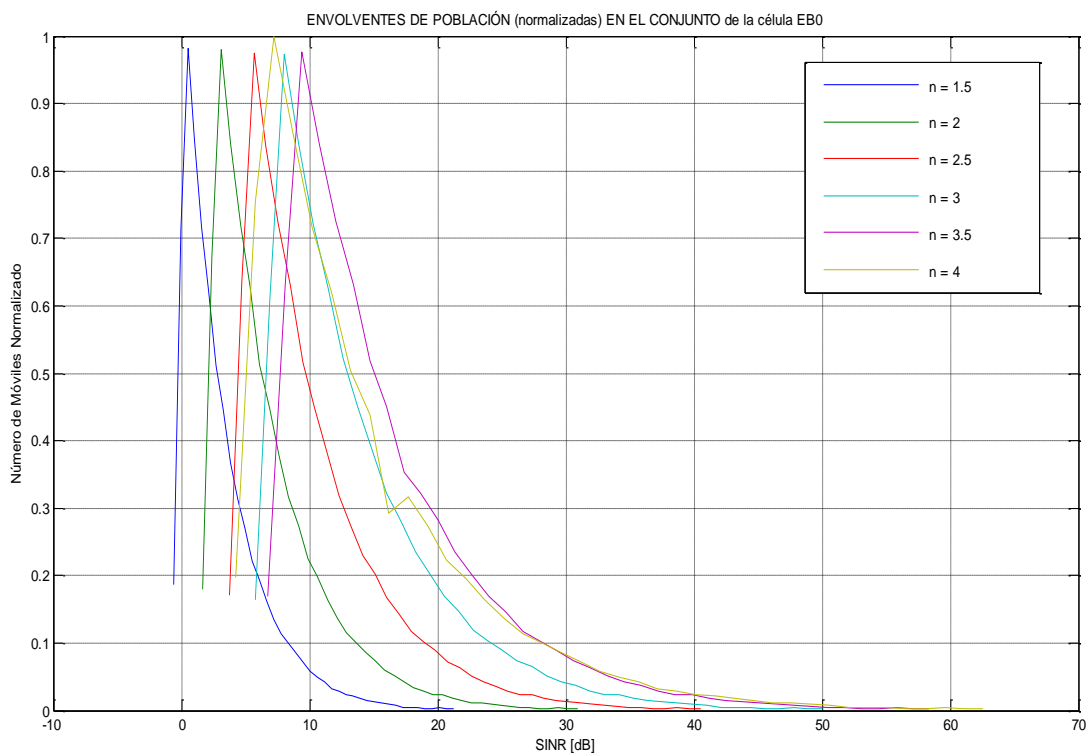


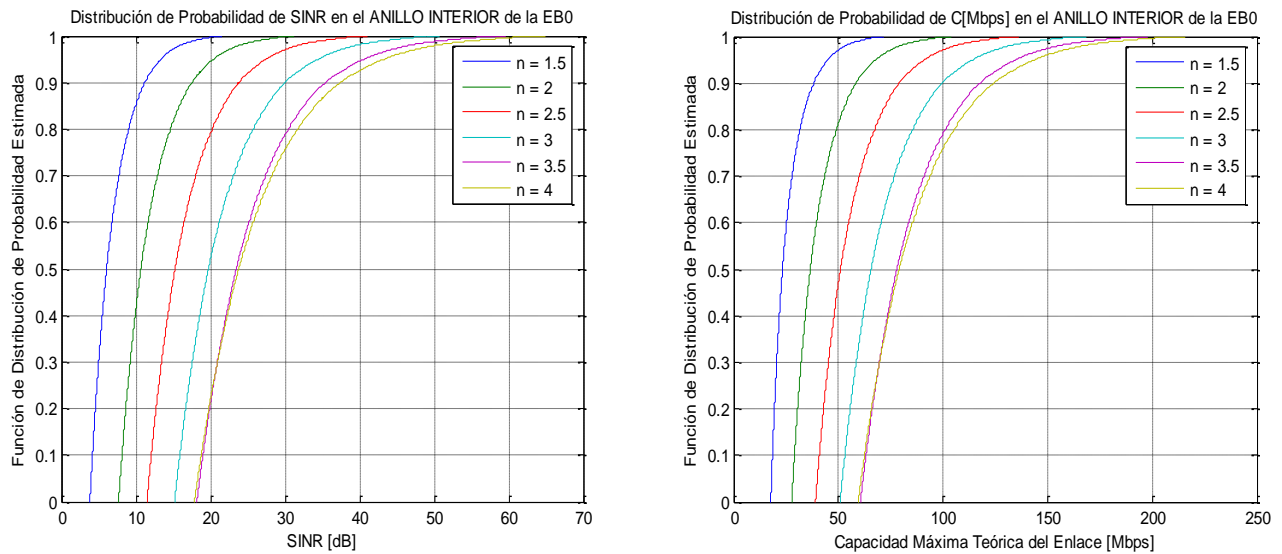
Figura de Evaluación 26: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	18.83	28.30	39.58	51.46	58.65	46.98
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	23.20	35.78	50.49	65.72	75.59	64.71
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	31.94	50.12	70.48	91.08	105.97	99.06
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	45.17	70.52	97.53	124.30	144.85	142.88
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.07	0.25	0.51	0.78	0.92	0.70
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.00	0.03	0.09	0.19	0.29	0.25
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.01	0.03	0.03
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.12	2.66	5.14	7.44	8.68	6.19
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.11	5.35	8.55	11.58	13.46	11.38
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.04	0.18	0.39	0.63	0.77	0.59

Tabla de Evaluación 17:

Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

j) Reutilización FFR 7+3

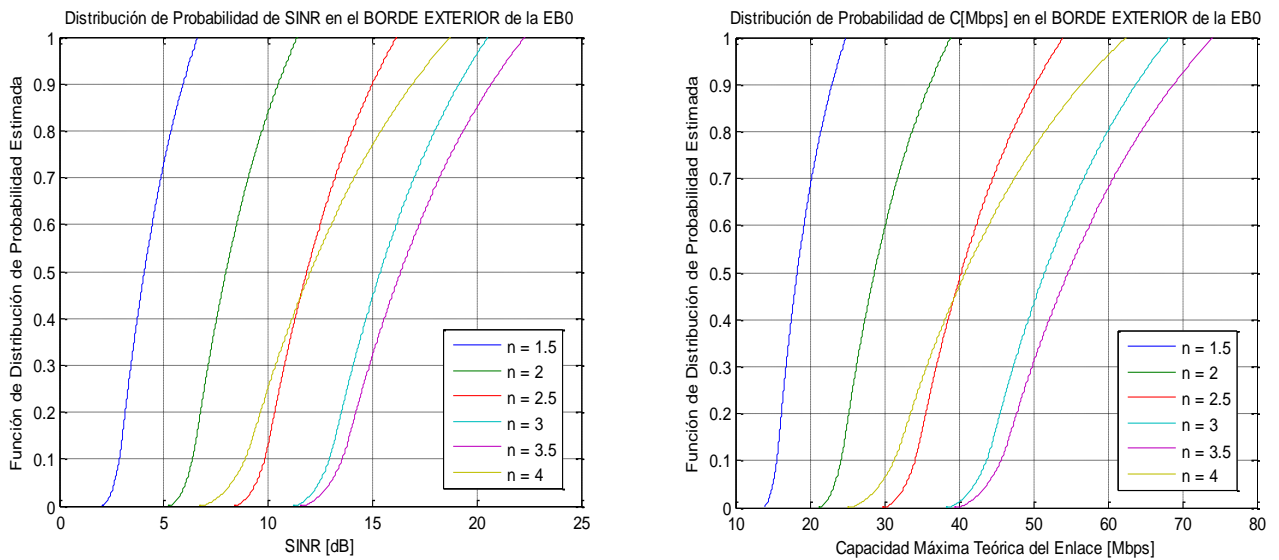
Figura de Evaluación 27: Curvas de CDF($SINR[dB]$) y CDF($R[Mbps]$)(Anillo Interior en Reutilización FFR 7+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	19.98	31.37	44.06	57.06	67.87	67.69
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	23.33	36.60	51.05	65.67	77.99	79.10
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	29.58	45.99	63.30	80.60	95.47	98.93

$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	38.29	58.50	79.28	99.90	118.01	124.60
$P_r (C >10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C >50 \text{ Mbps})$	0.03	0.19	0.53	1.00	1.00	1.00
$P_r (C >100 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.03	0.10	0.21	0.24
$P_r (C >200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.00
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	4.17	8.13	12.06	15.89	18.99	18.77
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	6.06	10.66	15.24	19.72	23.46	23.79
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR >10 \text{ dB})$	0.15	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 18:

Anillo Interior en Reutilización FFR 7+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$.

**Figura de Evaluación 28:** Curvas de CDF($SINR[dB]$) y CDF($R[Mbps]$)

(Borde Exterior en Reutilización FFR 7+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	16.47	25.71	36.24	46.39	48.74	34.54
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	18.29	28.67	40.32	51.51	54.65	40.85
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	20.83	32.71	45.80	58.30	62.52	49.46
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	22.98	36.06	50.26	63.78	68.87	56.53
$P_r (C >10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C >50 \text{ Mbps})$	0	0	0.11	0.57	0.69	0.24
$P_r (C >100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C >200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	2.87	6.38	9.84	12.94	13.55	8.90

$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x) = 0.5$	4.07	7.99	11.86	15.38	16.35	12.03
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$	0	0.16	0.87	1.00	1.00	0.75

Tabla de Evaluación 19:

Borde Exterior en Reutilización FFR 7+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

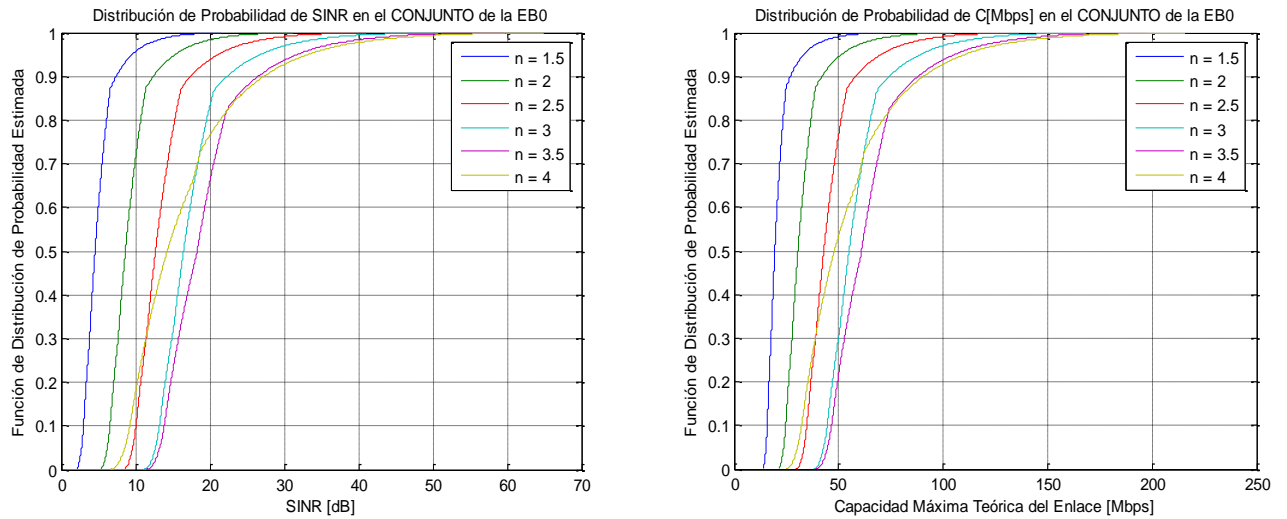


Figura de Evaluación 29: Curvas de $\text{CDF}(\text{SINR}[\text{dB}])$ y $\text{CDF}(R[\text{Mbps}])$
(Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

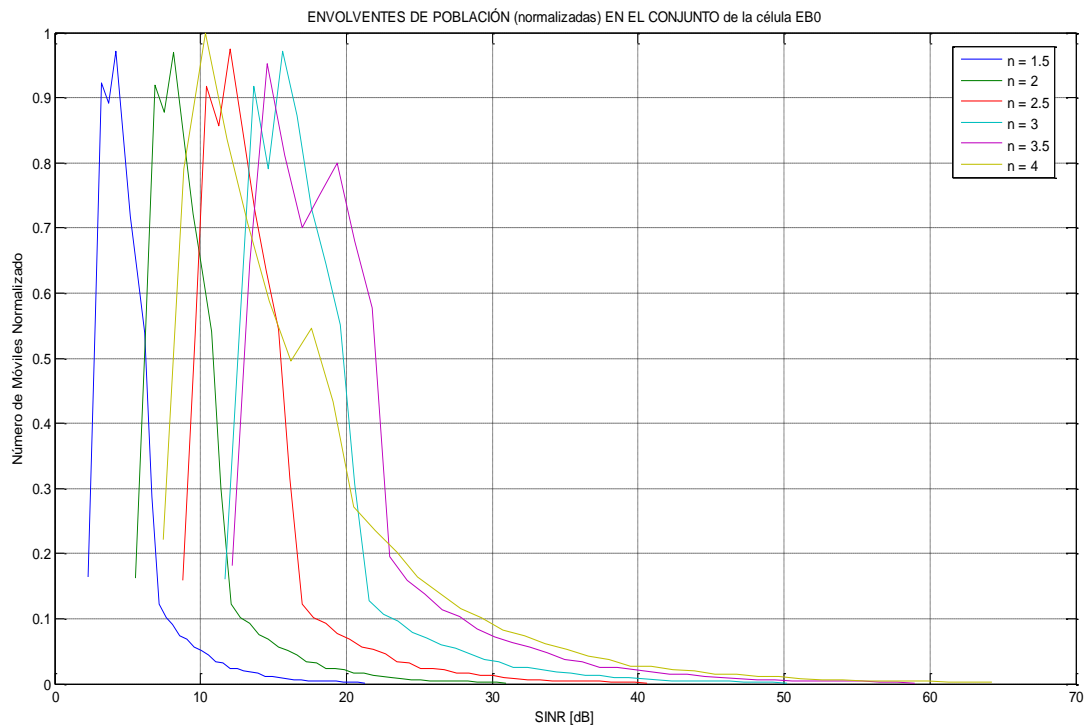


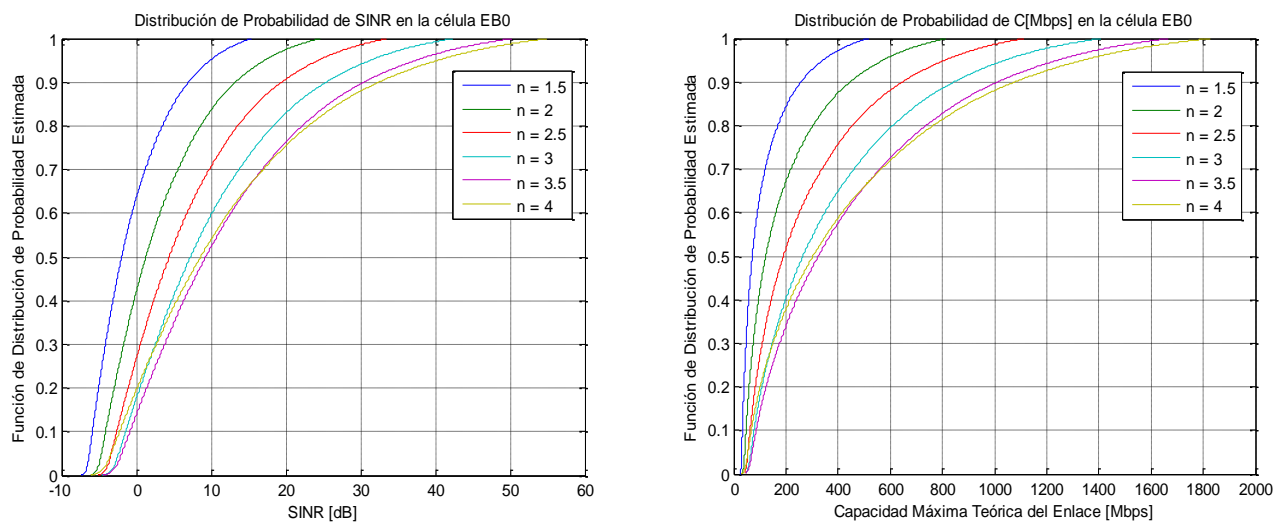
Figura de Evaluación 30: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	17.19	26.88	37.86	48.43	51.10	37.03
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	19.47	30.56	42.91	55.00	60.96	48.01
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	22.59	35.46	49.49	63.12	70.53	64.72
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	26.93	42.06	58.21	74.41	88.23	90.71
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.01	0.06	0.23	0.70	0.78	0.47
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.01	0.03	0.06	0.07
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.00
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.01	6.56	10.06	13.21	13.86	9.24
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.56	8.64	12.69	16.46	18.29	14.29
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.04	0.29	0.91	1.00	1.00	0.82

Tabla de Evaluación 20:Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

3.4.1.1.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia

a) Reutilización Celular Monobanda

**Figura de Evaluación 31:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$ (Reutilización Celular Monobanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

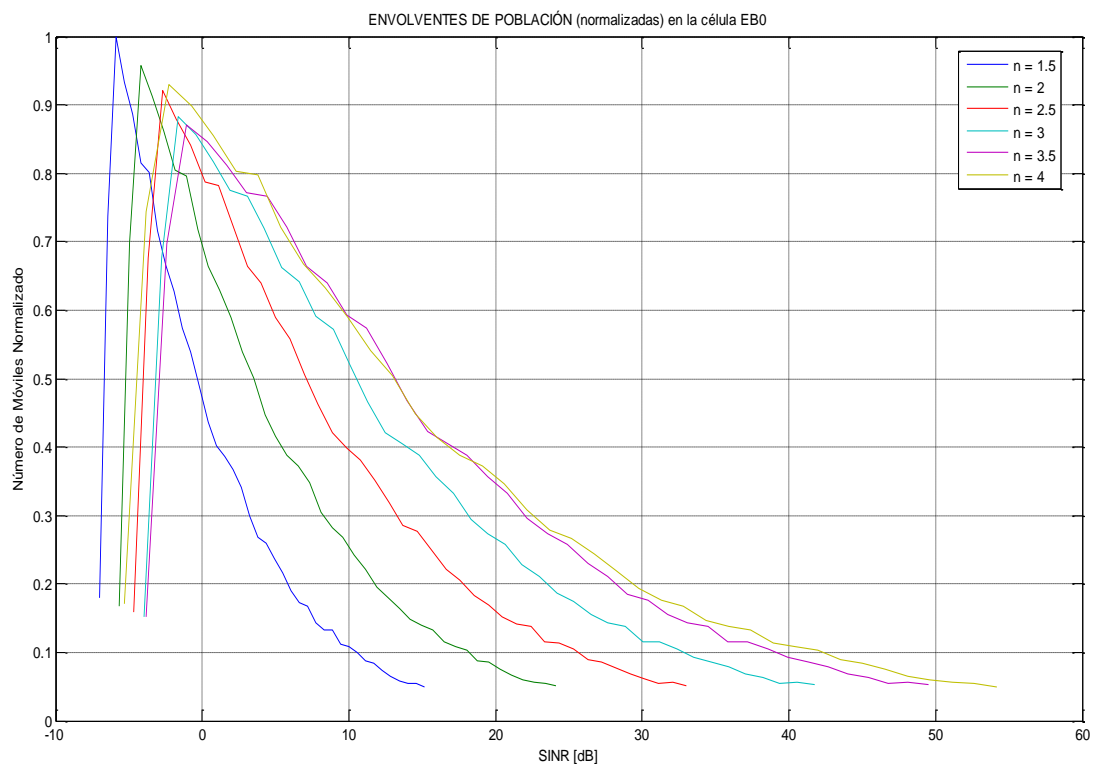


Figura de Evaluación 32: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Monobanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	42.86	66.25	95.18	126.62	148.28	123.96
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	71.13	123.00	190.34	265.06	323.84	303.57
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	141.90	257.04	392.25	530.71	644.02	659.29
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	258.74	448.45	648.99	846.17	1014.21	1079.83
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.67	0.87	0.98	1.00	1.00	0.97
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.36	0.58	0.73	0.82	0.86	0.80
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.16	0.33	0.48	0.60	0.66	0.62
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-5.88	-4.12	-2.62	-1.44	-0.89	-2.26
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-1.96	1.29	4.38	7.23	9.26	8.57
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.36	0.58	0.73	0.82	0.86	0.80
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.16	0.29	0.40	0.48	0.46

Tabla de Evaluación 21:
Reutilización Celular Monobanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

b) Reutilización Celular Tribanda

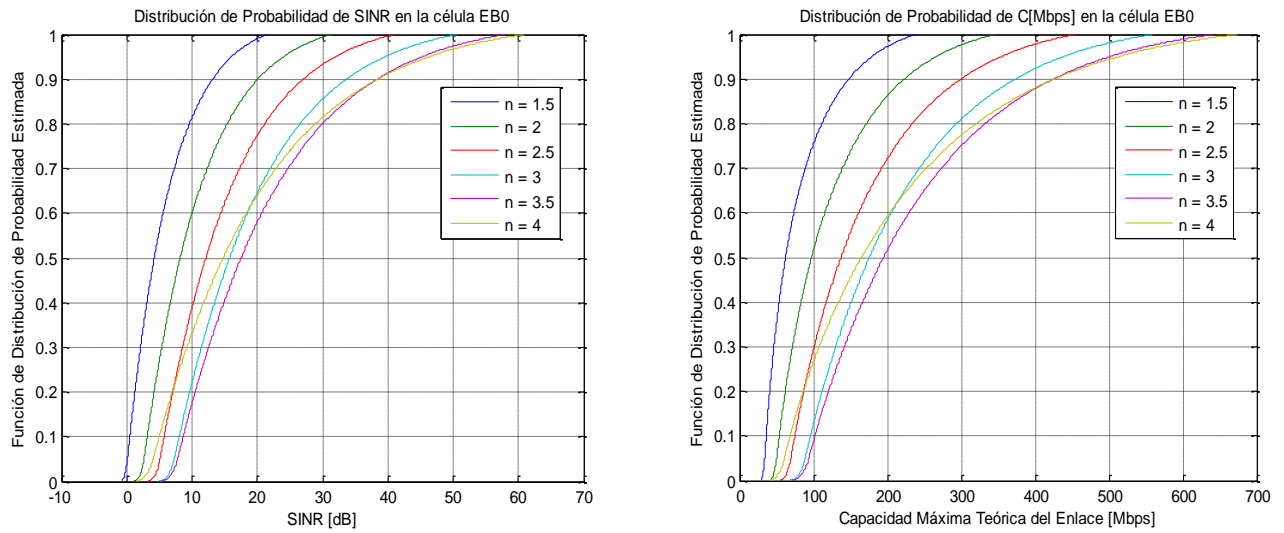


Figura de Evaluación 33: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Celular Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

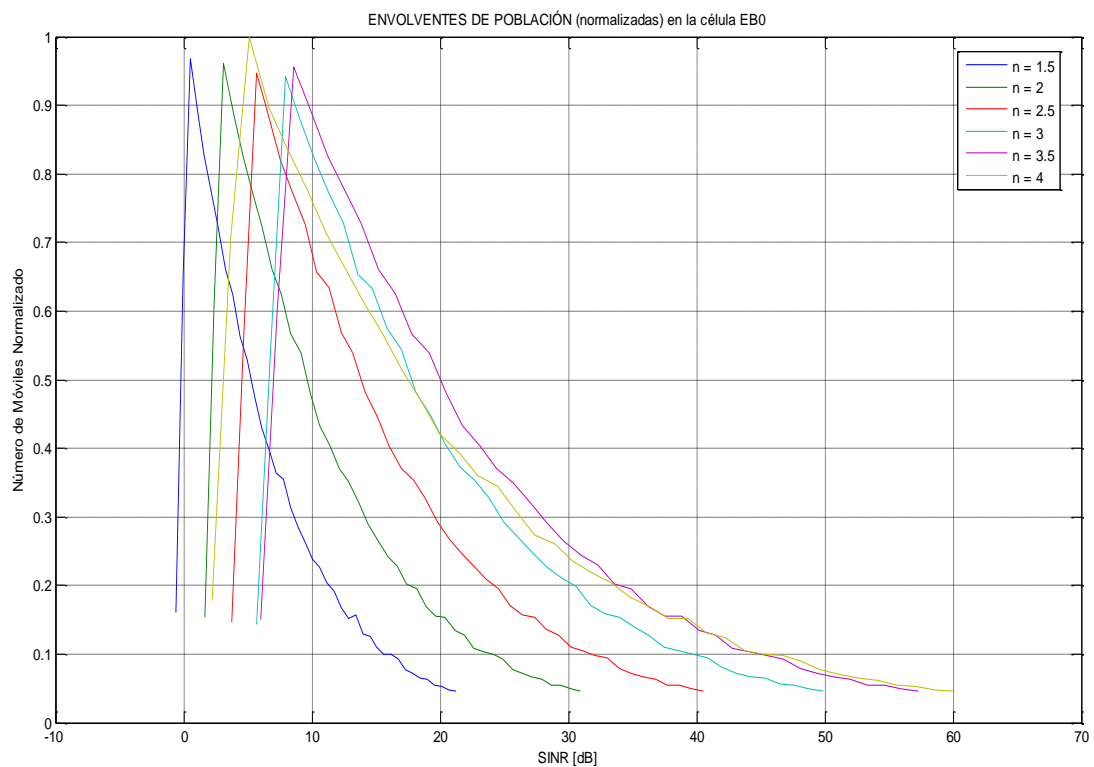


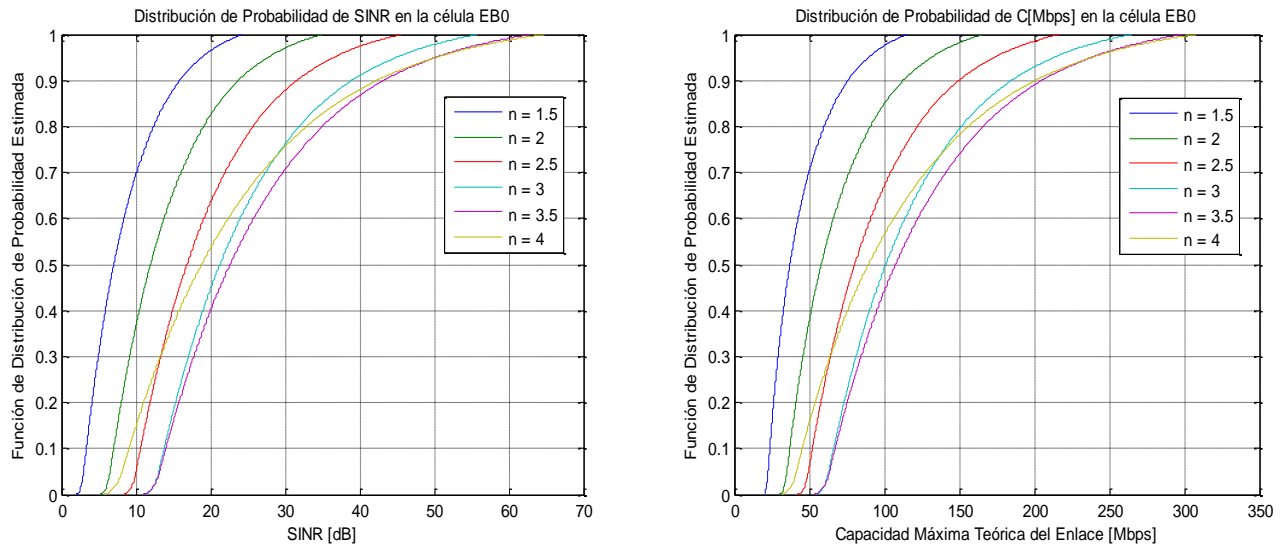
Figura de Evaluación 34: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	43.51	66.63	93.74	120.78	130.78	96.48
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	62.20	97.54	137.10	175.72	194.76	164.95
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	98.86	153.64	211.18	266.44	300.47	283.93
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	148.44	224.04	300.69	374.35	426.27	427.29
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.65	0.95	1.00	1.00	1.00	0.99
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.24	0.48	0.71	0.87	0.91	0.73
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.03	0.14	0.28	0.42	0.48	0.41
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.48	3.15	5.74	8.05	8.67	4.99
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.22	8.20	12.12	15.76	17.51	14.75
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.19	0.40	0.61	0.78	0.83	0.67

Tabla de Evaluación 22:

Reutilización Celular Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

c) Reutilización Celular Heptabanda

**Figura de Evaluación 35:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Reutilización Celular Heptabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

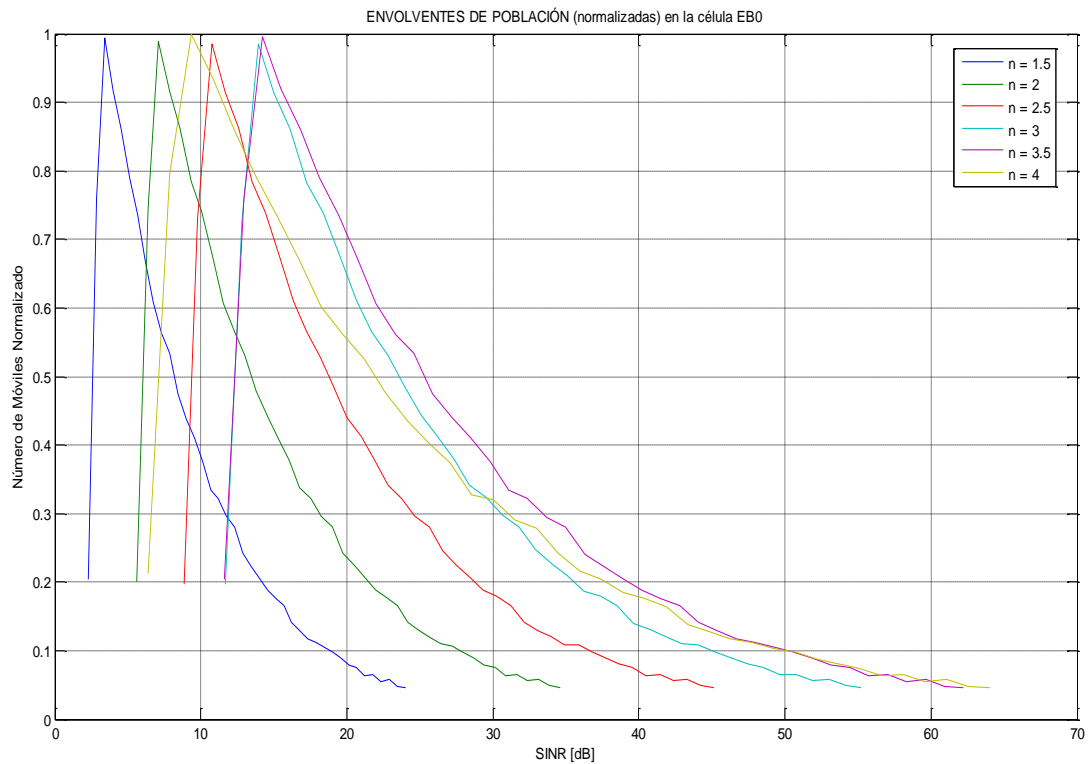


Figura de Evaluación 36: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Heptabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	27.62	43.34	60.81	77.09	79.78	58.70
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	37.08	57.99	80.27	100.96	107.41	89.39
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	54.37	83.10	112.50	139.92	152.75	140.89
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	75.80	112.74	149.84	184.81	205.07	200.63
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.62	0.94	1.00	1.00	0.84
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.02	0.15	0.33	0.51	0.56	0.43
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0.01	0.07	0.11	0.10
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.33	7.00	10.61	13.77	14.00	9.05
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	7.03	11.95	16.82	21.24	22.61	18.78
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.63	0.95	1.00	1.00	0.85

Tabla de Evaluación 23:
Reutilización Celular Heptabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

d) Reutilización Sectorial Tribanda

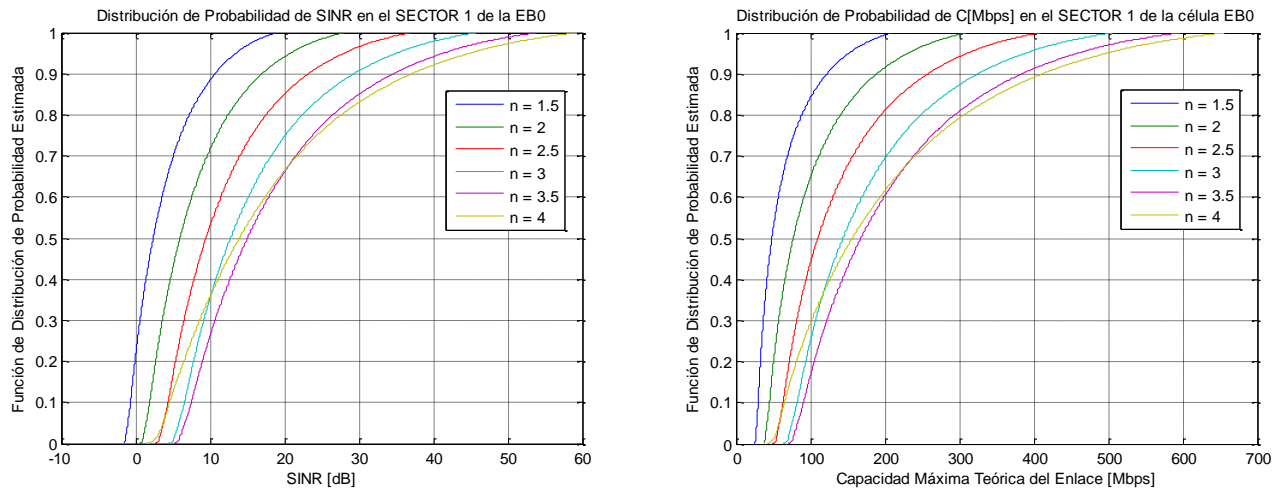


Figura de Evaluación 37: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Sectorial Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

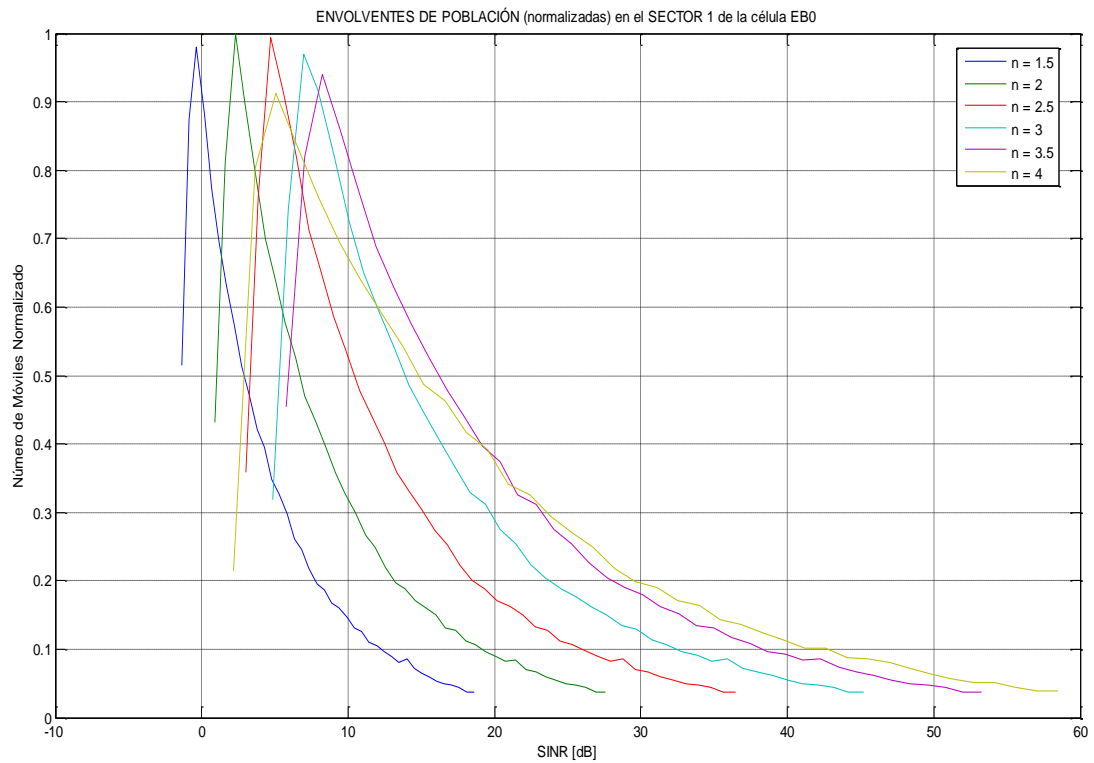


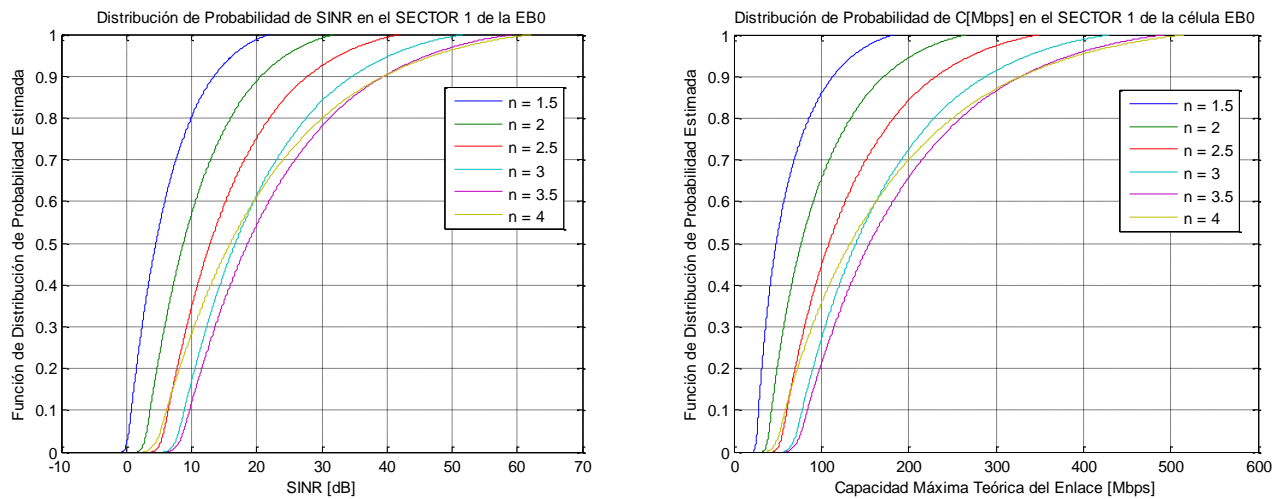
Figura de Evaluación 38: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Sectorial Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	34.58	53.60	76.33	99.82	113.26	90.77
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	48.11	76.84	109.83	143.42	167.64	156.01
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	77.49	123.94	173.64	222.87	263.42	270.37
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	122.04	189.40	257.92	325.01	383.89	411.39
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.48	0.81	1.00	1.00	1.00	0.99
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.16	0.35	0.56	0.75	0.83	0.71
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.01	0.08	0.19	0.31	0.40	0.38
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-0.71	1.88	4.35	6.56	7.48	4.57
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.35	5.96	9.45	12.73	15.00	13.92
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.78	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.11	0.28	0.47	0.65	0.74	0.64

Tabla de Evaluación 24:

Reutilización Sectorial Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

e) Reutilización Sectorial Tetrabanda

**Figura de Evaluación 39:** Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Reutilización Sectorial Tetrabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

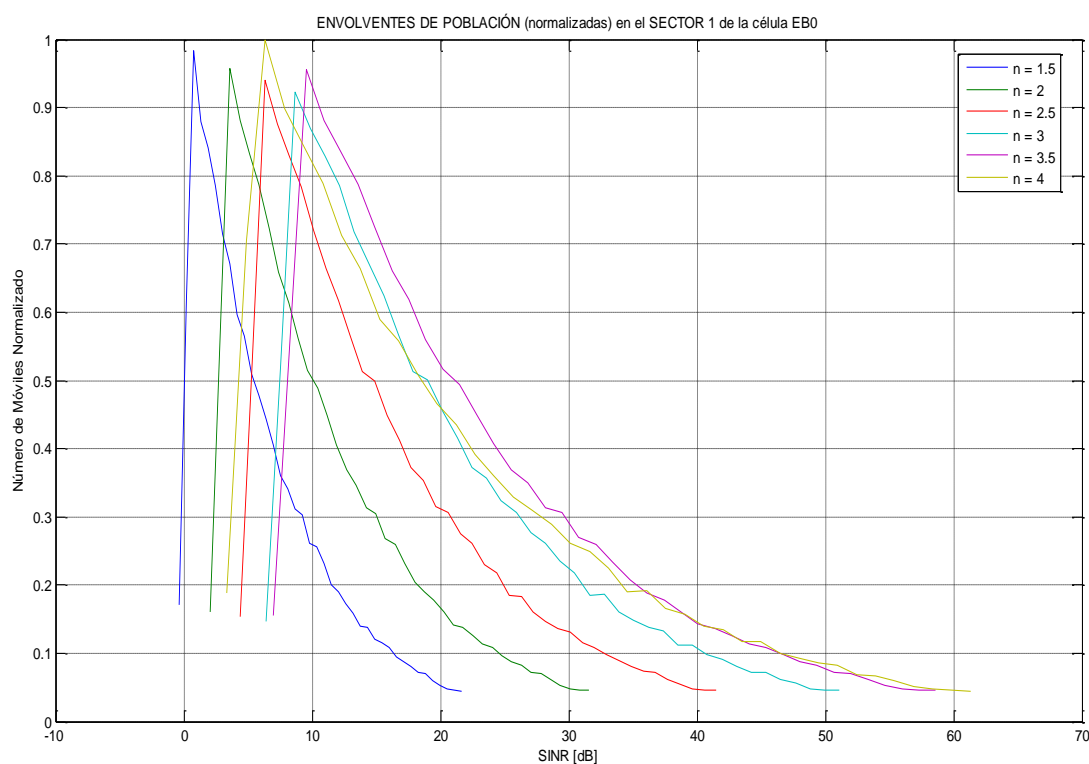
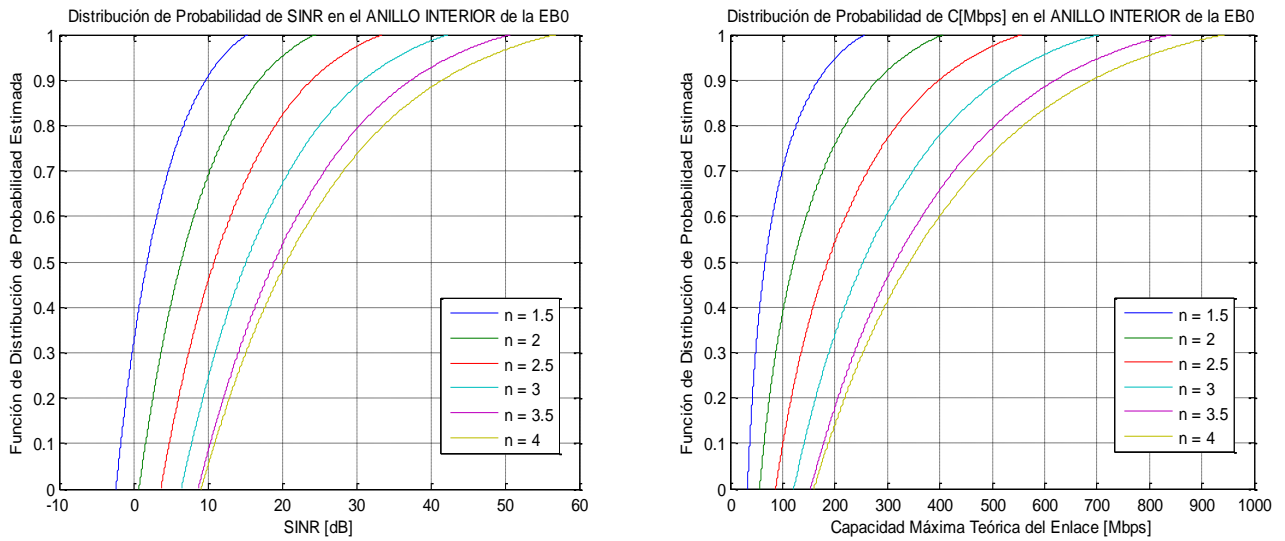


Figura de Evaluación 40: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Sectorial Tetrabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	34.04	53.26	75.48	97.43	106.45	80.91
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	48.53	77.24	108.96	139.71	155.44	133.35
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	76.84	120.45	165.84	209.27	236.16	223.75
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	113.50	172.41	231.88	288.88	328.71	328.83
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.48	0.80	0.99	1.00	1.00	0.97
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.14	0.35	0.56	0.73	0.79	0.64
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0.06	0.16	0.27	0.34	0.30
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.75	3.64	6.42	8.89	9.70	6.16
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.53	8.76	12.90	16.73	18.66	15.95
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.20	0.43	0.65	0.83	0.88	0.72

Tabla de Evaluación 25:
Reutilización Sectorial Tetrabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

f) Reutilización FFR Bibanda

**Figura de Evaluación 41:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$ (Anillo Interior en Reutilización FFR Bibanda, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	45.33	80.82	125.94	175.57	220.90	235.33
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	67.07	121.58	186.41	254.18	315.63	342.59
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	111.30	196.10	287.94	379.83	463.71	511.07
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	168.88	282.89	399.83	515.20	621.97	691.63
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.30	0.61	0.91	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.05	0.24	0.46	0.66	0.82	0.86
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.70	1.64	4.84	7.85	10.36	10.95
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	1.86	6.43	10.88	15.17	18.95	20.59
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.09	0.31	0.55	0.76	0.92	0.95

Tabla de Evaluación 26:Anillo Interior en Reutilización FFR Bibanda, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

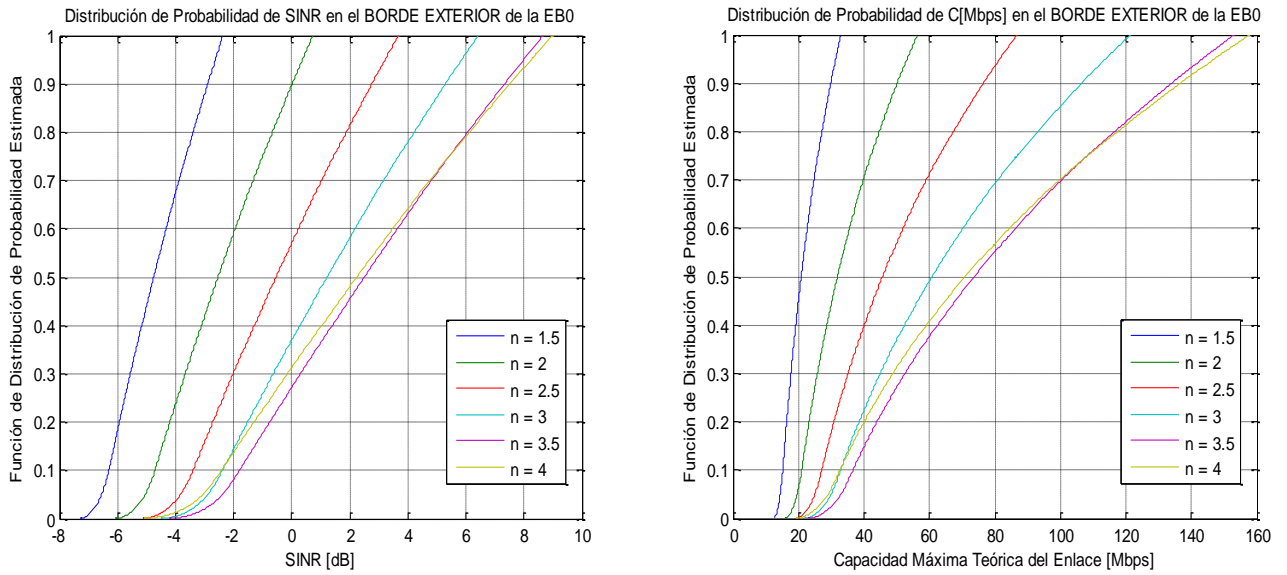


Figura de Evaluación 42: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Borde Exterior en Reutilización FFR Bibanda, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	17.03	24.49	32.98	41.65	48.16	44.34
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	20.83	31.92	45.61	60.76	73.76	71.04
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	25.91	42.10	62.98	86.80	108.30	108.35
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	29.89	50.12	76.50	106.68	134.17	136.84
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.10	0.43	0.63	0.73	0.69
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0.15	0.30	0.30
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-6.30	-4.72	-3.41	-2.39	-1.80	-2.42
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-4.75	-2.54	-0.55	1.21	2.50	2.25
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0	0.10	0.43	0.63	0.73	0.69
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0	0	0	0	0	0

Tabla de Evaluación 27:
Borde Exterior en Reutilización FFR Bibanda, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

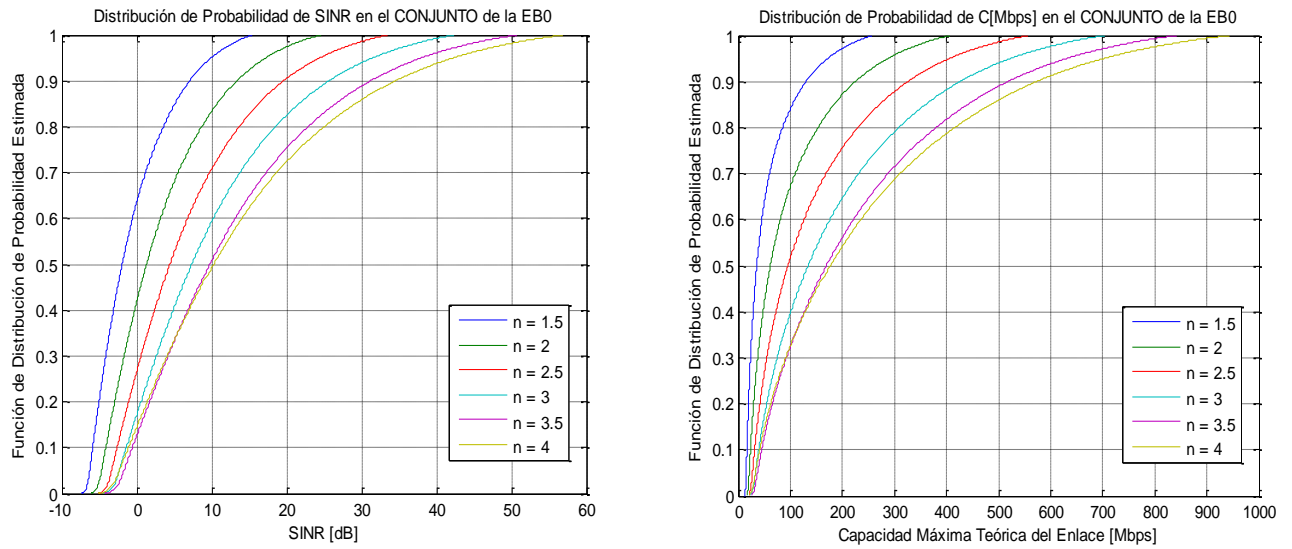


Figura de Evaluación 43: Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR Bibanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

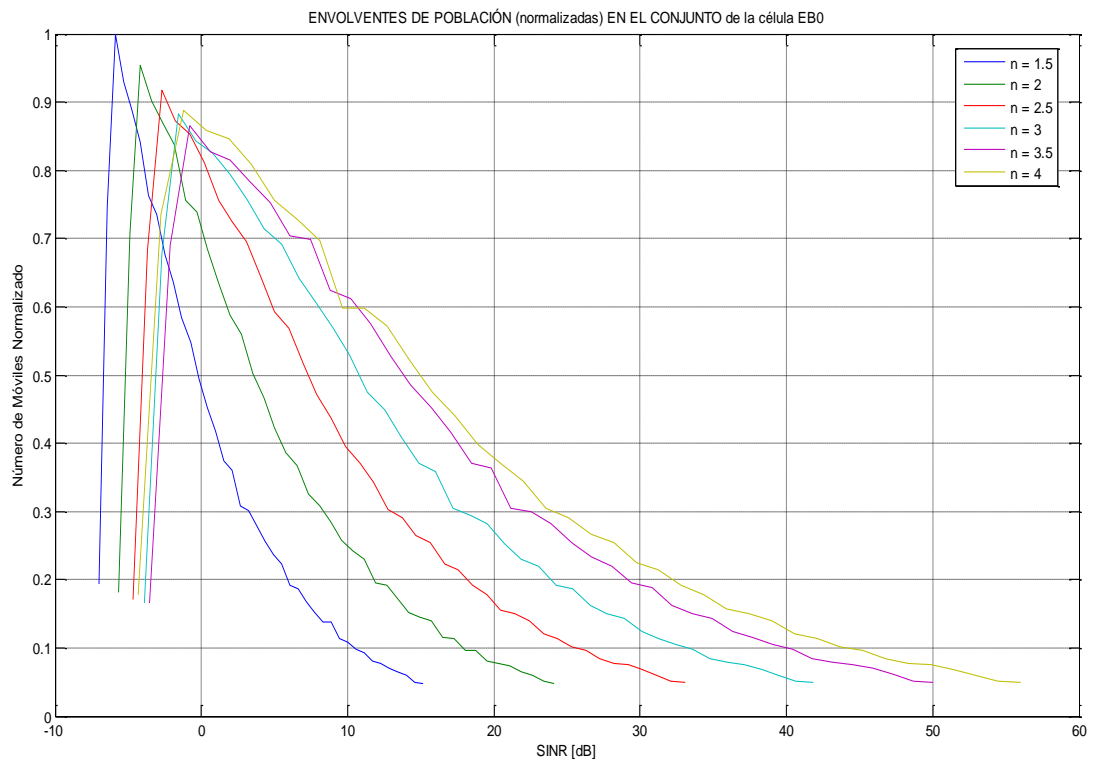


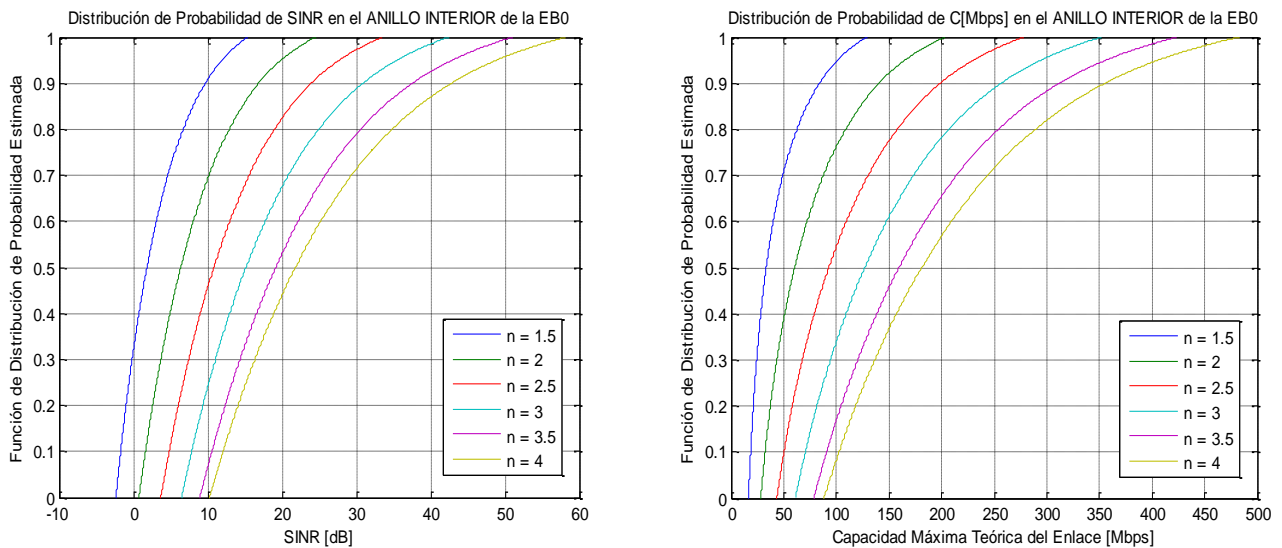
Figura de Evaluación 44: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR Bibanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	21.48	33.23	47.82	64.10	78.21	75.79
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	35.63	61.65	95.50	133.85	169.11	177.01
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	70.96	128.56	196.32	266.69	330.49	359.47
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	130.35	225.74	326.61	426.79	518.68	573.74
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.36	0.58	0.73	0.83	0.87	0.85
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.16	0.33	0.48	0.60	0.68	0.67
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.03	0.13	0.24	0.35	0.44	0.46
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-5.88	-4.12	-2.62	-1.39	-0.60	-1.12
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-1.95	1.31	4.41	7.32	9.74	10.27
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.36	0.58	0.73	0.83	0.87	0.85
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.17	0.29	0.41	0.49	0.51

Tabla de Evaluación 28:

Reutilización FFR Bibanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3 \text{ Km}$.

g) Reutilización FFR 3+1

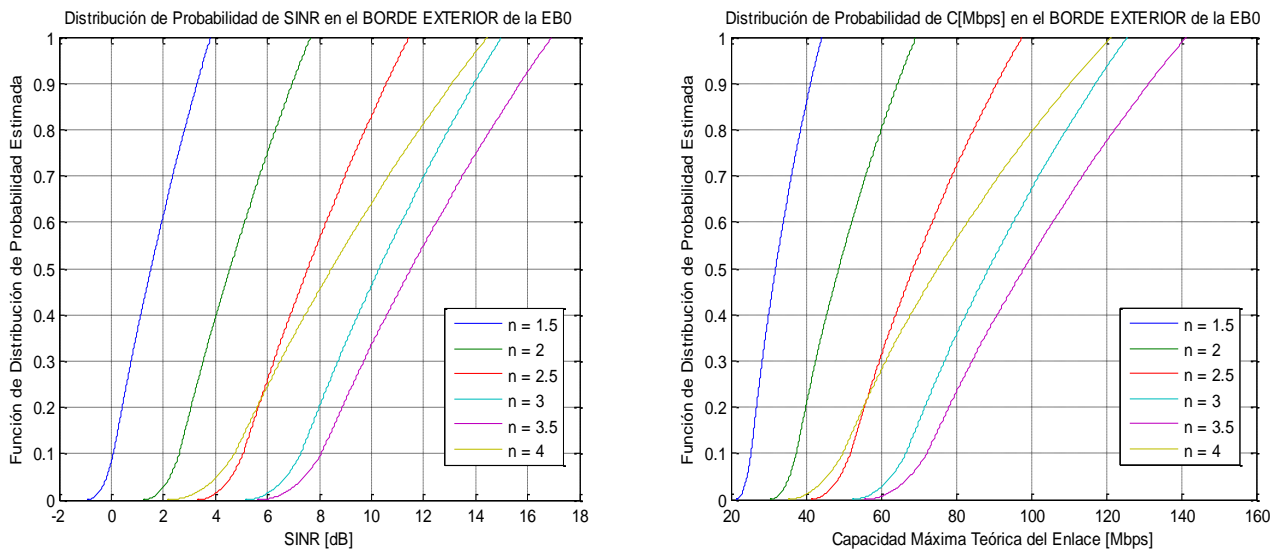
Figura de Evaluación 45: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$ (Anillo Interior en Reutilización FFR 3+1, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3 \text{ Km}$).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	22.58	40.23	62.73	87.71	112.09	126.96
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	33.37	60.49	92.82	126.87	159.46	181.19
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	55.09	97.17	142.85	188.84	232.60	264.69

$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	84.02	140.85	199.19	257.02	312.35	355.77
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.29	0.61	0.90	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.05	0.24	0.45	0.66	0.83	0.92
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.10	0.22	0.35	0.43
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.71	1.63	4.82	7.86	10.58	12.09
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	1.82	6.39	10.83	15.15	19.15	21.79
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.09	0.31	0.54	0.76	0.93	1.00

Tabla de Evaluación 29:

Anillo Interior en Reutilización FFR 3+1, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3 \text{ Km}$.

**Figura de Evaluación 46:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Borde Exterior en Reutilización FFR 3+1, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3 \text{ Km}$).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	27.55	41.26	57.55	74.23	81.14	58.19
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	31.90	48.73	68.55	88.70	98.08	75.09
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	37.34	57.92	81.72	105.66	117.95	95.94
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	41.25	64.39	90.80	117.17	131.42	110.52
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.46	0.93	1.00	1.00	0.90
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0.33	0.47	0.21
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.09	2.61	5.07	7.28	8.07	4.74

$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	1.53	4.57	7.55	10.29	11.51	8.46
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0	0	0.17	0.54	0.66	0.36

Tabla de Evaluación 30:

Borde Exterior en Reutilización FFR 3+1, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

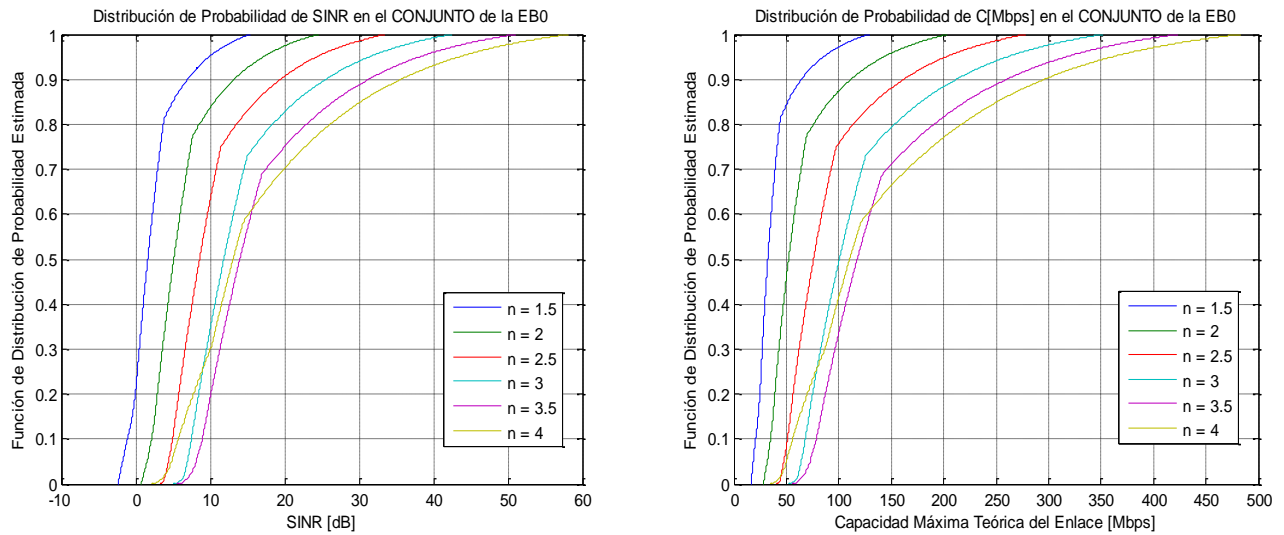


Figura de Evaluación 47: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

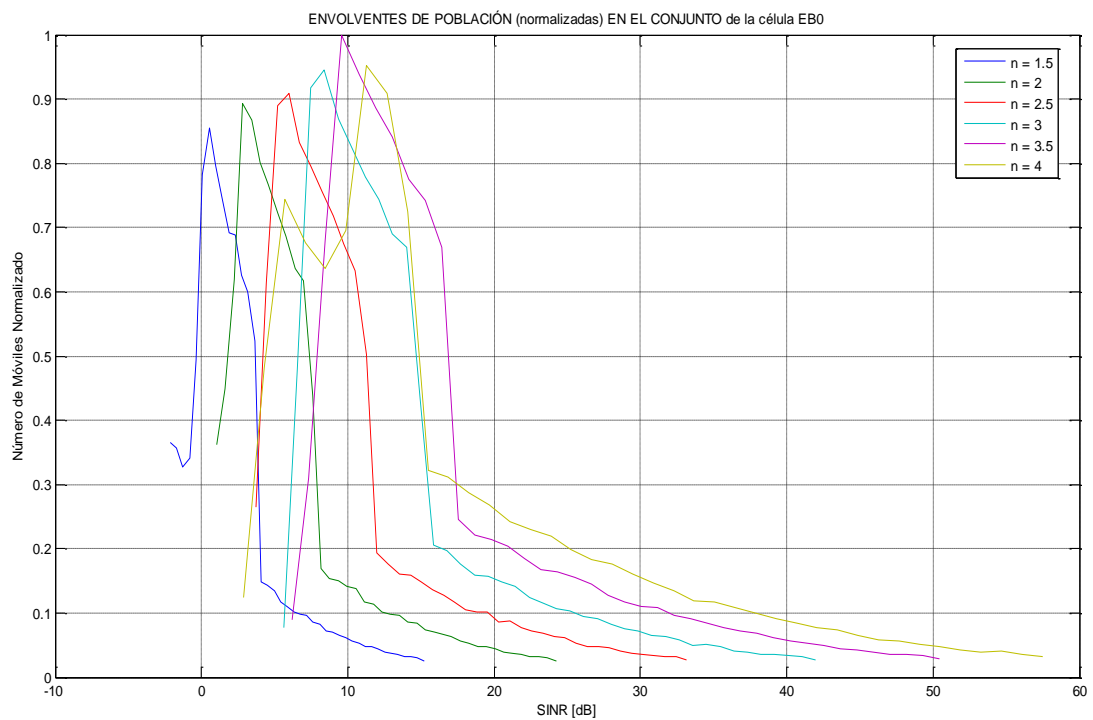


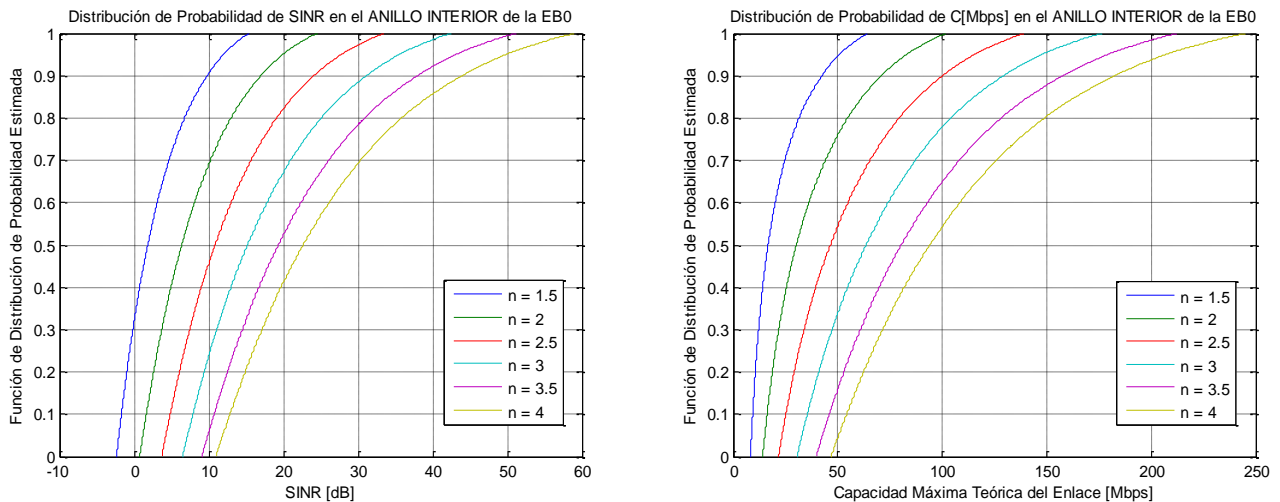
Figura de Evaluación 48: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	25.95	40.91	59.30	78.77	91.89	77.97
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	32.32	52.21	75.96	100.63	117.69	110.40
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	41.33	67.51	97.74	133.09	166.87	189.65
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	64.75	112.23	162.51	212.73	260.59	296.65
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.16	0.54	0.92	1.00	1.00	0.95
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.03	0.13	0.24	0.51	0.66	0.59
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.05	0.12	0.18	0.23
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.09	2.14	4.96	7.48	8.97	5.72
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	1.61	5.12	8.58	11.84	14.00	13.08
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.16	0.37	0.66	0.81	0.70

Tabla de Evaluación 31:

Reutilización FFR 3+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

h) Reutilización FFR 7+1

**Figura de Evaluación 49:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$

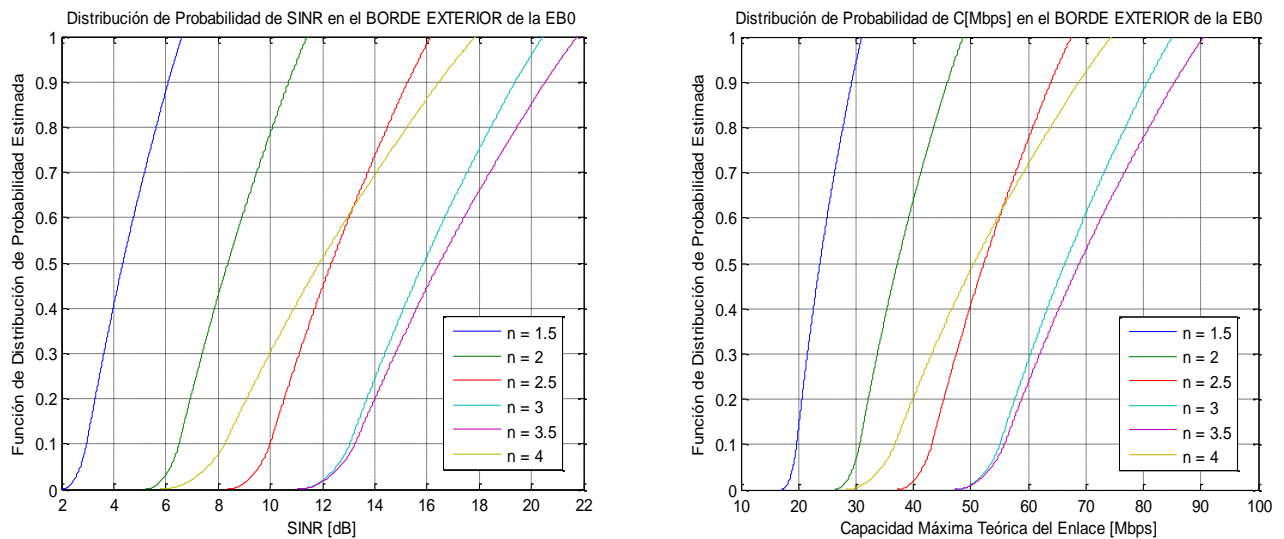
(Anillo Interior en Reutilización FFR 7+1, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	11.31	20.16	31.43	44.01	56.68	66.70
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	16.69	30.26	46.43	63.54	80.36	94.02
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	27.73	48.87	71.81	94.97	117.48	136.53
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	42.44	71.04	100.39	129.55	157.93	182.77

$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.05	0.24	0.46	0.66	0.84	0.96
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.10	0.22	0.35	0.46
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0.02	0.06
$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x)=0.1$	-1.70	1.63	4.83	7.88	10.72	12.83
$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x)=0.5$	1.83	6.39	10.84	15.17	19.30	22.62
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$	0.09	0.31	0.54	0.76	0.94	1.00

Tabla de Evaluación 32:

Anillo Interior en Reutilización FFR 7+1, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3 \text{ Km}$.

**Figura de Evaluación 50:** Curvas de $\text{CDF}(\text{SINR}[\text{dB}])$ y $\text{CDF}(R[\text{Mbps}])$

(Borde Exterior en Reutilización FFR 7+1, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3 \text{ Km}$).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	21.07	32.93	46.37	59.00	60.39	41.49
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	23.73	37.23	52.27	66.36	68.86	50.52
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	27.01	42.41	59.25	74.97	78.81	61.42
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	29.28	45.92	63.91	80.69	85.44	68.80
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.59	0.99	0.99	0.51
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x)=0.1$	2.97	6.51	9.99	13.04	13.25	8.25

$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x) = 0.5$	4.36	8.38	12.34	15.87	16.49	11.89
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$	0	0.21	0.90	1.00	1.00	0.70

Tabla de Evaluación 33:

Borde Exterior en Reutilización FFR 7+1, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

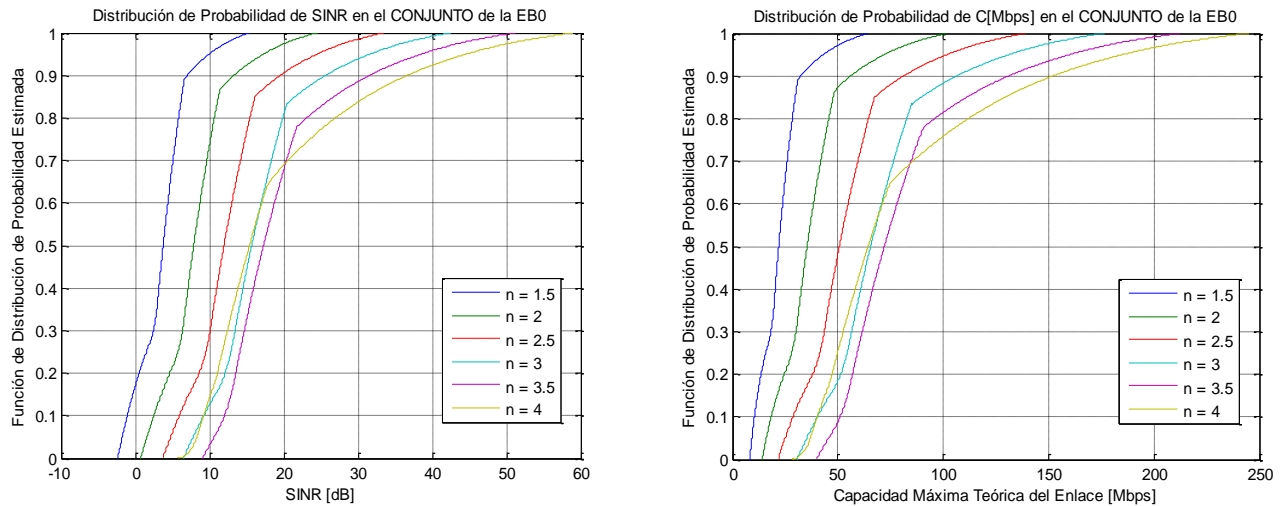


Figura de Evaluación 51: Curvas de $\text{CDF}(\text{SINR}[\text{dB}])$ y $\text{CDF}(R[\text{Mbps}])$
(Reutilización FFR 7+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

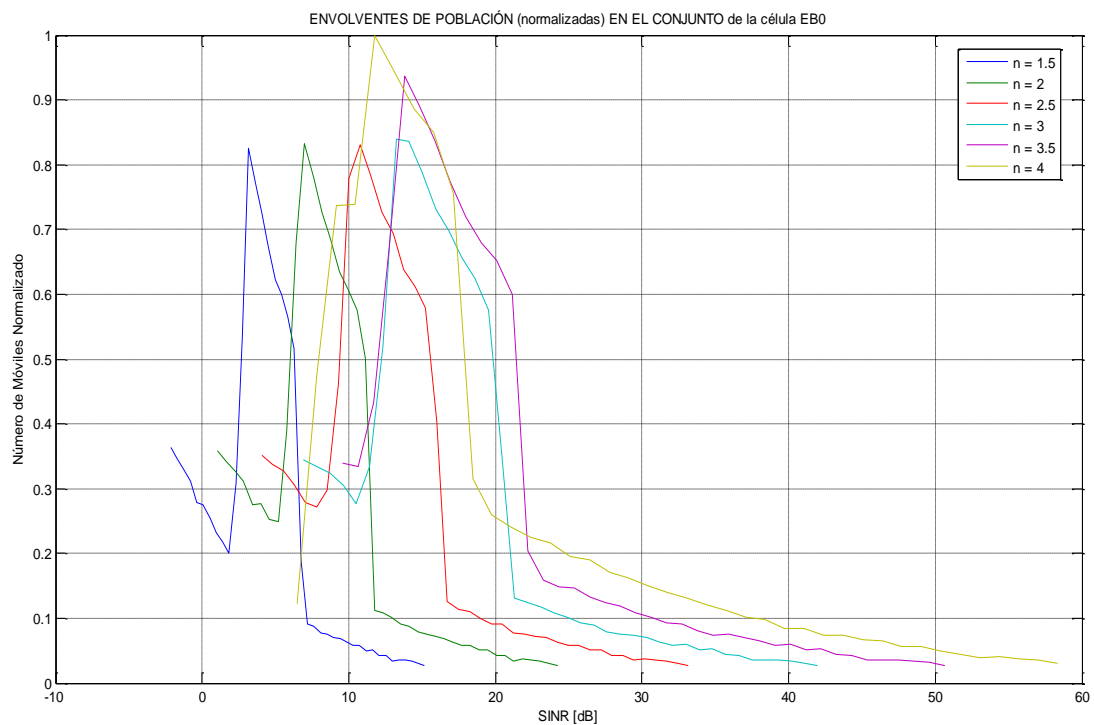


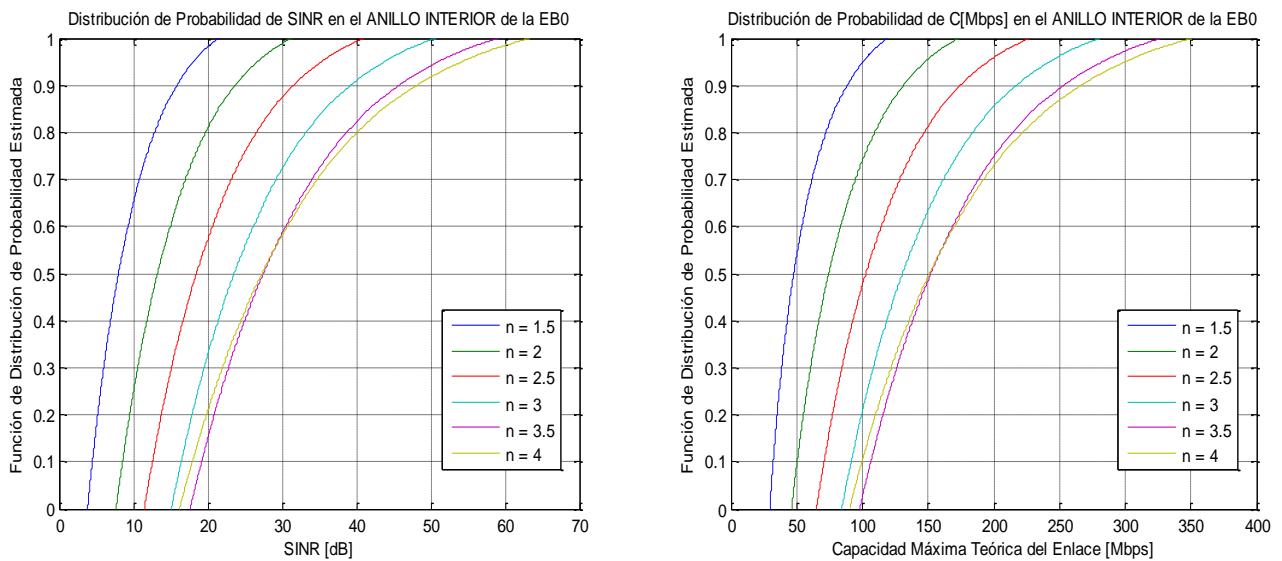
Figura de Evaluación 52: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km)

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	15.87	28.14	41.48	54.49	59.26	49.88
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	21.95	35.43	50.73	65.61	72.12	64.43
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	27.16	43.77	62.02	79.48	88.29	98.04
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	32.46	56.24	81.43	106.65	131.17	152.18
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.03	0.13	0.52	0.82	0.91	0.75
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.05	0.12	0.19	0.24
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0.01	0.03
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.07	2.49	5.92	9.21	12.02	9.21
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	3.76	7.88	11.95	15.68	17.29	15.39
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.26	0.71	0.87	0.97	0.86

Tabla de Evaluación 34:

Reutilización FFR 7+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

i) Reutilización FFR 3+3

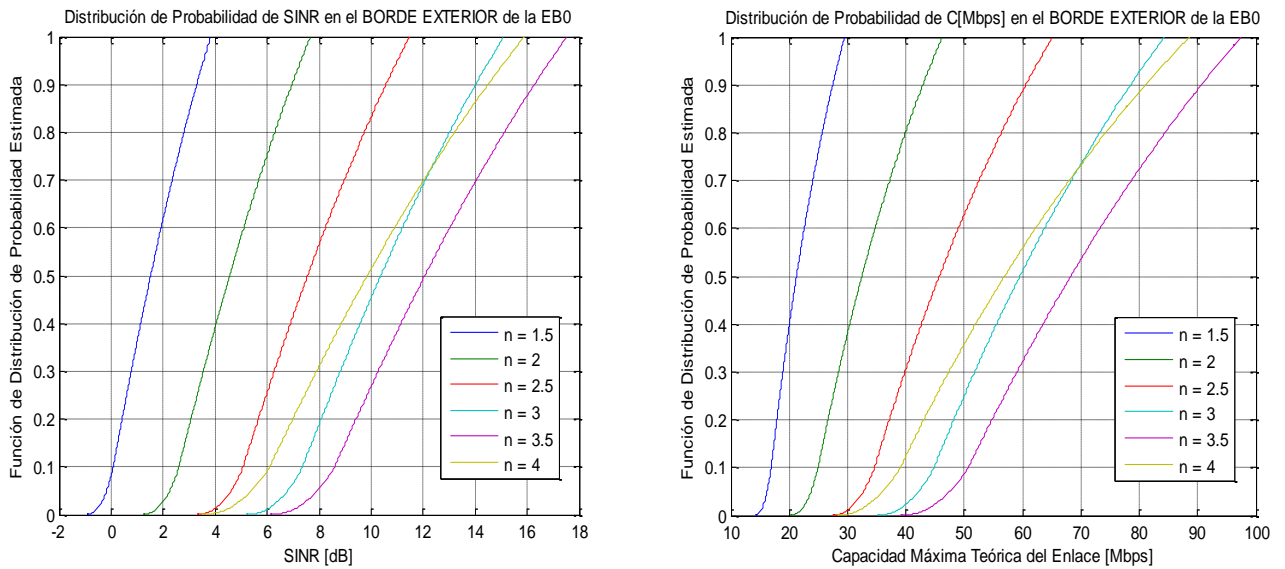
Figura de Evaluación 53: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$ (Anillo Interior en Reutilización FFR 3+3, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	36.78	57.75	80.74	103.77	120.85	115.75
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	47.80	74.43	102.60	130.46	152.05	151.06
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	66.46	101.22	136.81	171.77	200.26	205.94

$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	88.30	131.36	174.75	217.37	253.46	266.67
$P_r (C >10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C >50 \text{ Mbps})$	0.46	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C >100 \text{ Mbps})$	0.05	0.26	0.52	0.79	0.98	0.90
$P_r (C >200 \text{ Mbps})$	0	0	0.04	0.15	0.25	0.27
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	4.48	8.54	12.57	16.44	19.19	17.94
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	7.99	13.24	18.47	23.54	27.46	27.28
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR >10 \text{ dB})$	0.35	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 35:

Anillo Interior en Reutilización FFR 3+3, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3 \text{ Km}$.

**Figura de Evaluación 54:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Borde Exterior en Reutilización FFR 3+3, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3 \text{ Km}$).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	18.39	27.55	38.47	49.98	56.88	45.19
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	21.26	32.48	45.72	59.54	68.26	56.93
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	24.85	38.54	54.43	70.78	81.56	71.15
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	27.50	42.93	60.58	78.59	90.77	81.21
$P_r (C >10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C >50 \text{ Mbps})$	0	0	0.37	0.75	0.91	0.64
$P_r (C >100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C >200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.08	2.61	5.07	7.35	8.59	6.09

$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x) = 0.5$	1.53	4.56	7.56	10.37	12.07	9.85
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$	0	0	0.17	0.55	0.73	0.49

Tabla de Evaluación 36:

Borde Exterior en Reutilización FFR 3+3, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

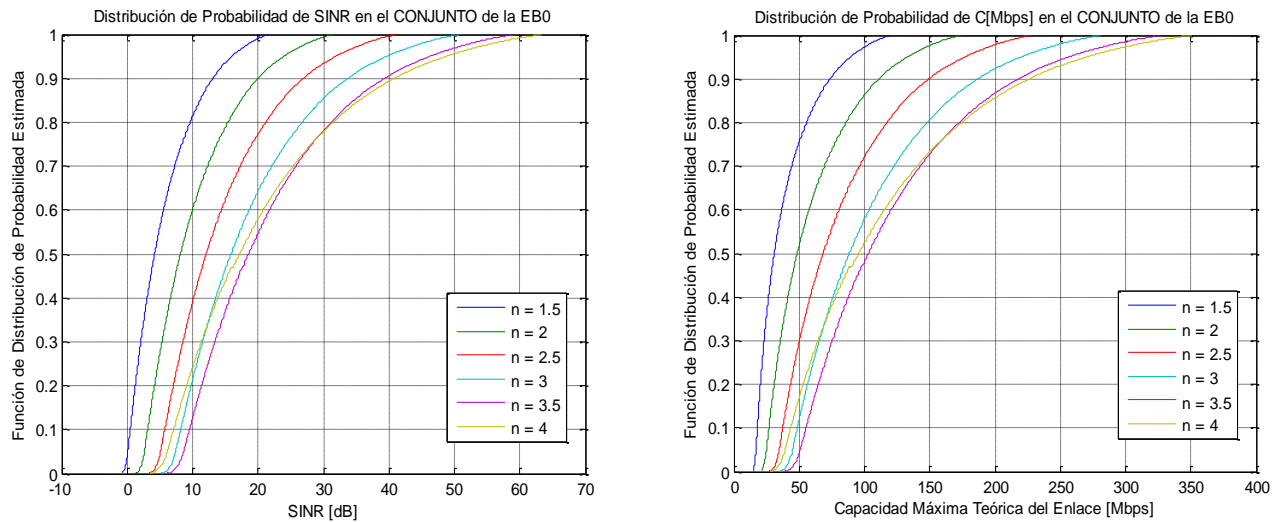


Figura de Evaluación 55: Curvas de $\text{CDF}(\text{SINR}[\text{dB}])$ y $\text{CDF}(R[\text{Mbps}])$
(Reutilización FFR 3+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

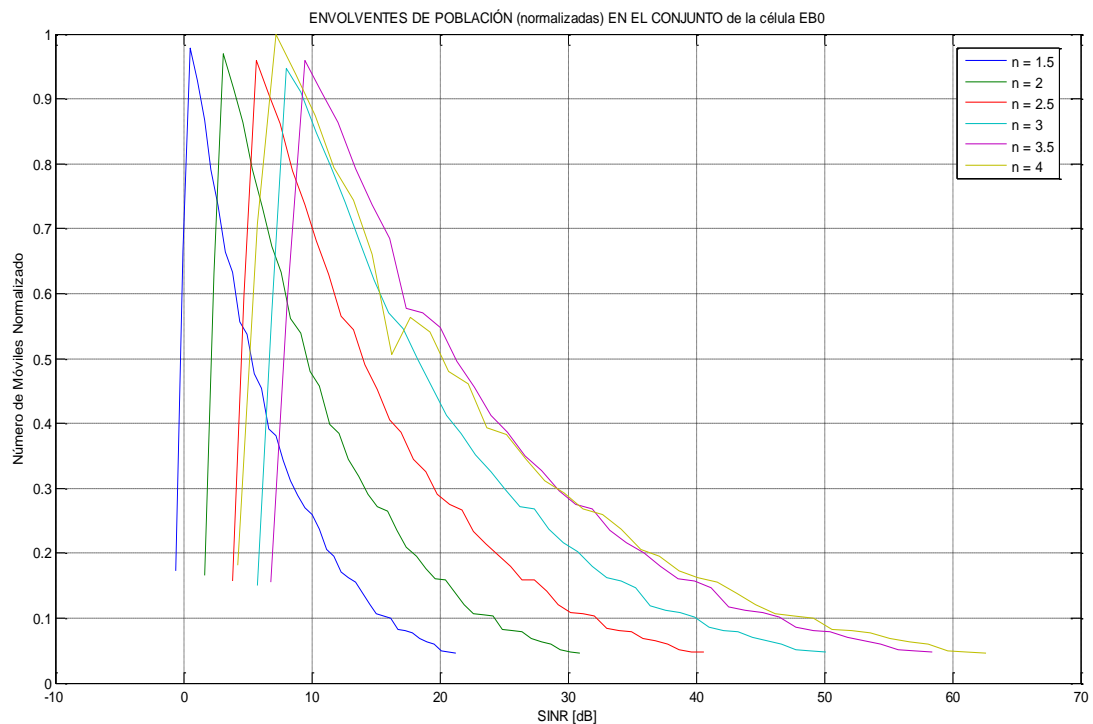
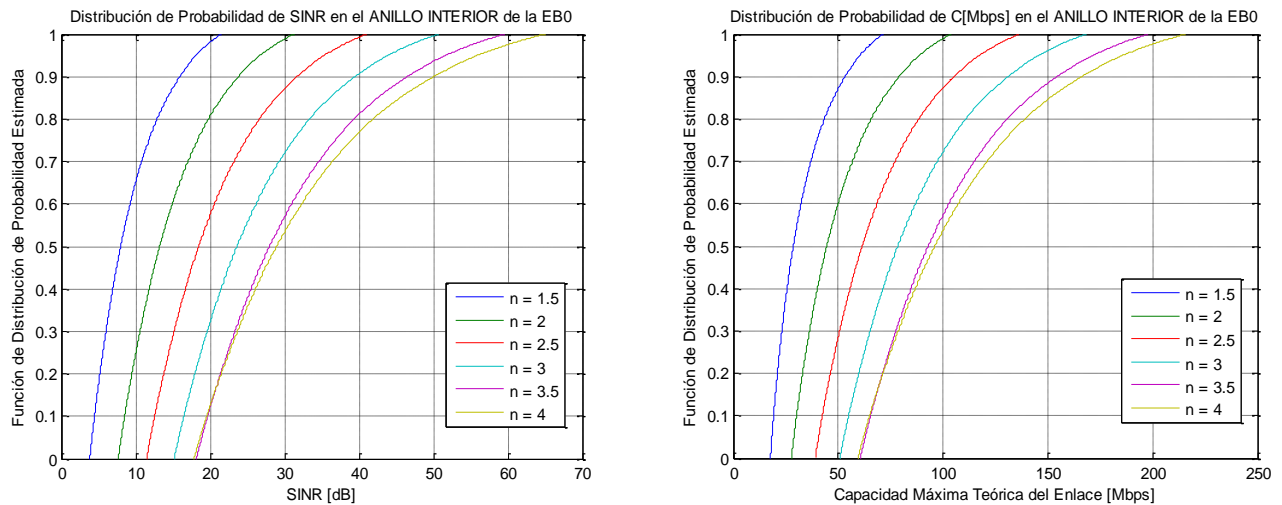


Figura de Evaluación 56: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	21.69	33.21	46.79	60.93	69.91	58.67
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	30.96	48.55	68.34	88.42	102.84	95.57
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	49.45	76.85	105.73	134.25	156.48	156.08
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	73.81	111.46	149.74	187.32	218.40	226.64
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.25	0.48	0.70	0.88	0.96	0.83
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.03	0.14	0.28	0.42	0.52	0.48
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0.02	0.08	0.13	0.14
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.47	3.13	5.74	8.17	9.52	7.09
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.19	8.15	12.08	15.86	18.51	17.18
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.19	0.40	0.61	0.79	0.87	0.76

Tabla de Evaluación 37:Reutilización FFR 3+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

j) Reutilización FFR 7+3

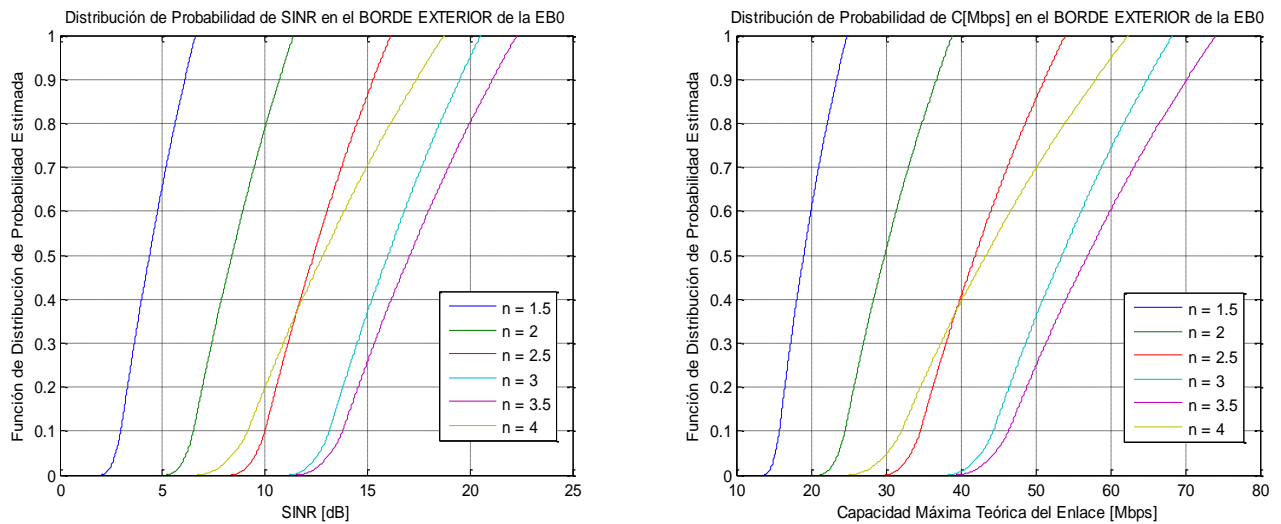
**Figura de Evaluación 57:** Curvas de CDF($SINR[dB]$) y CDF($R[Mbps]$)(Anillo Interior en Reutilización FFR 7+3, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	22.10	34.69	48.52	62.57	74.34	74.99
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	28.63	44.59	61.50	78.41	92.90	96.01

$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	40.01	60.93	82.36	103.61	122.33	129.53
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	53.24	79.17	105.32	131.20	154.53	166.28
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.13	0.40	0.72	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0.01	0.13	0.28	0.43	0.46
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.02
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	4.46	8.52	12.55	16.48	19.68	19.54
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	7.98	13.22	18.45	23.58	27.96	28.90
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.35	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 38:

Anillo Interior en Reutilización FFR 7+3, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

**Figura de Evaluación 58:** Curvas de CDF($SINR[dB]$) y CDF($R[Mbps]$)

(Borde Exterior en Reutilización FFR 7+3, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	16.88	26.37	37.16	47.55	50.08	35.95
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	19.03	29.86	41.95	53.53	56.99	43.39
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	21.59	33.90	47.39	60.26	64.79	51.98
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	23.44	36.77	51.20	64.93	70.21	58.03
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.15	0.64	0.75	0.30
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	2.97	6.52	10.01	13.15	13.79	9.16

$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x) = 0.5$	4.38	8.40	12.38	16.01	17.07	12.84
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$	0	0.21	0.90	1.00	1.00	0.80

Tabla de Evaluación 39:

Borde Exterior en Reutilización FFR 7+3, con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

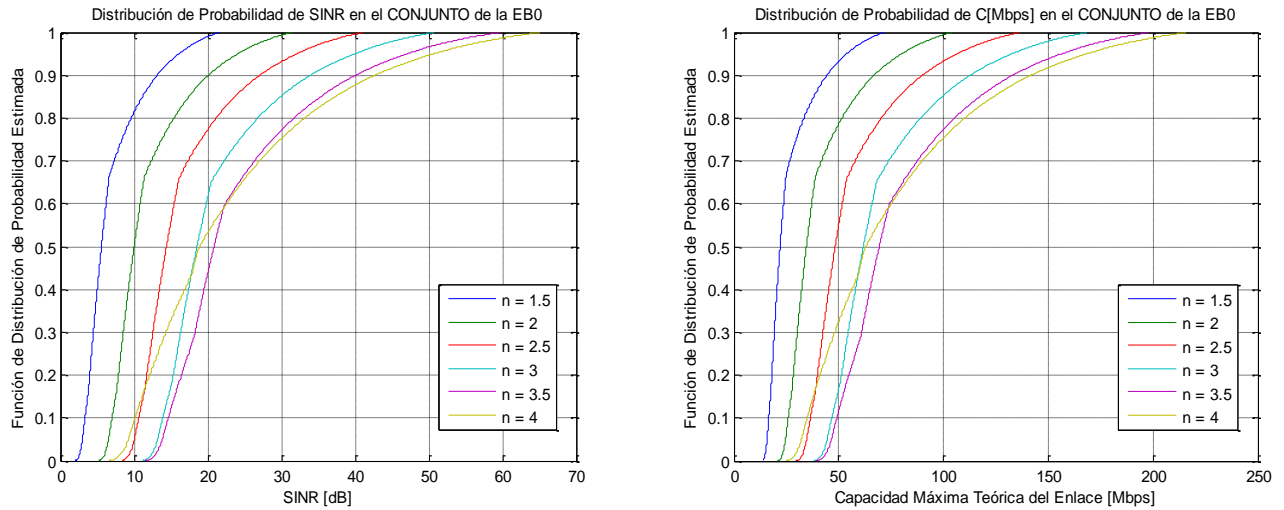


Figura de Evaluación 59: Curvas de $\text{CDF}(\text{SINR}[\text{dB}])$ y $\text{CDF}(R[\text{Mbps}])$
(Reutilización FFR 7+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

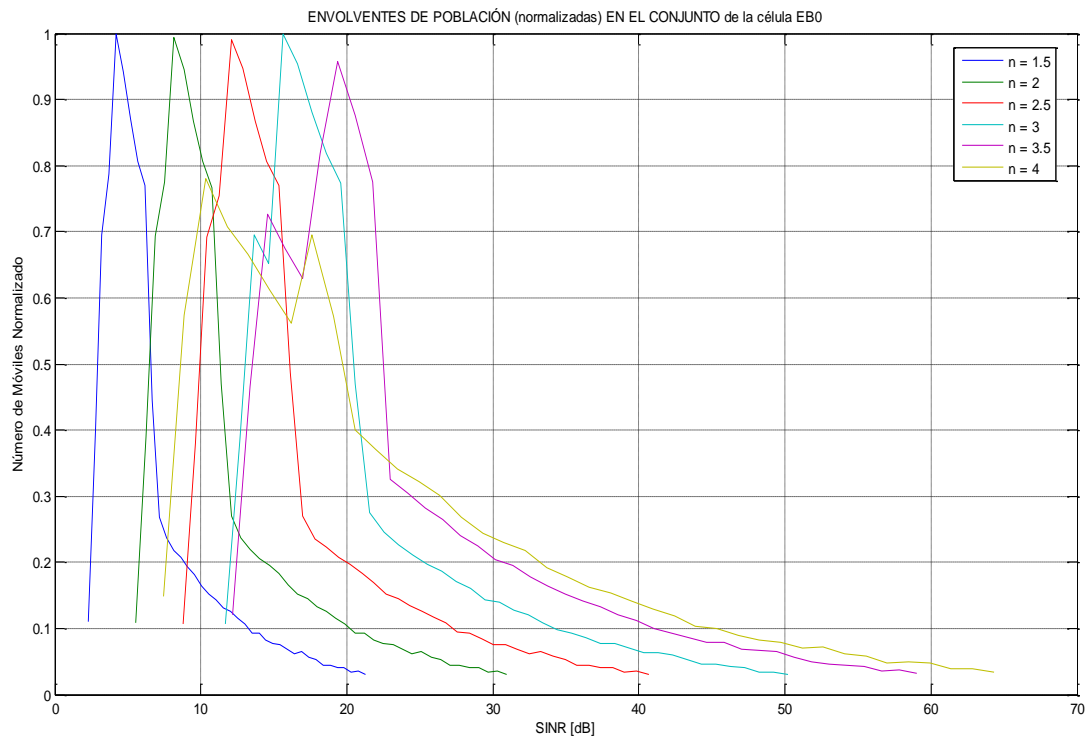


Figura de Evaluación 60: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	18.66	29.27	41.17	52.95	58.04	44.53
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	22.04	34.60	48.35	61.80	69.41	62.88
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	29.73	46.20	63.58	80.94	95.86	99.37
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	44.43	67.07	90.12	112.94	133.22	141.95
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.07	0.21	0.45	0.83	0.88	0.67
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0.01	0.07	0.15	0.23	0.25
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.01
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.35	7.02	10.64	13.91	14.66	10.13
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	5.57	10.00	14.40	18.54	20.86	18.87
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.19	0.50	0.95	1.00	1.00	0.91

Tabla de Evaluación 40:

Reutilización FFR 7+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3 \text{ Km}$.

3.4.1.1.3. Aplicación a Microcélula

En este apartado se va a efectuar la comparativa de los escenarios para un radio de la región de cobertura de las células de 200 m, considerando una **Población Uniformemente Distribuida** en la específica de la *EB0*.

a) Reutilización Celular Monobanda

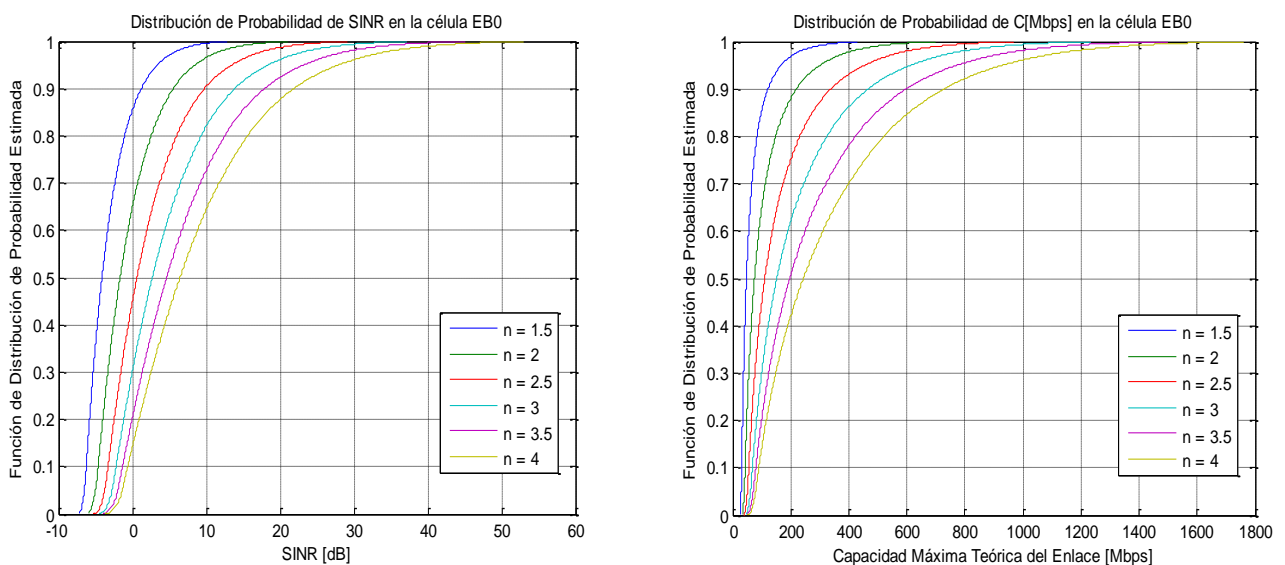


Figura de Evaluación 61: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Celular Monobanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

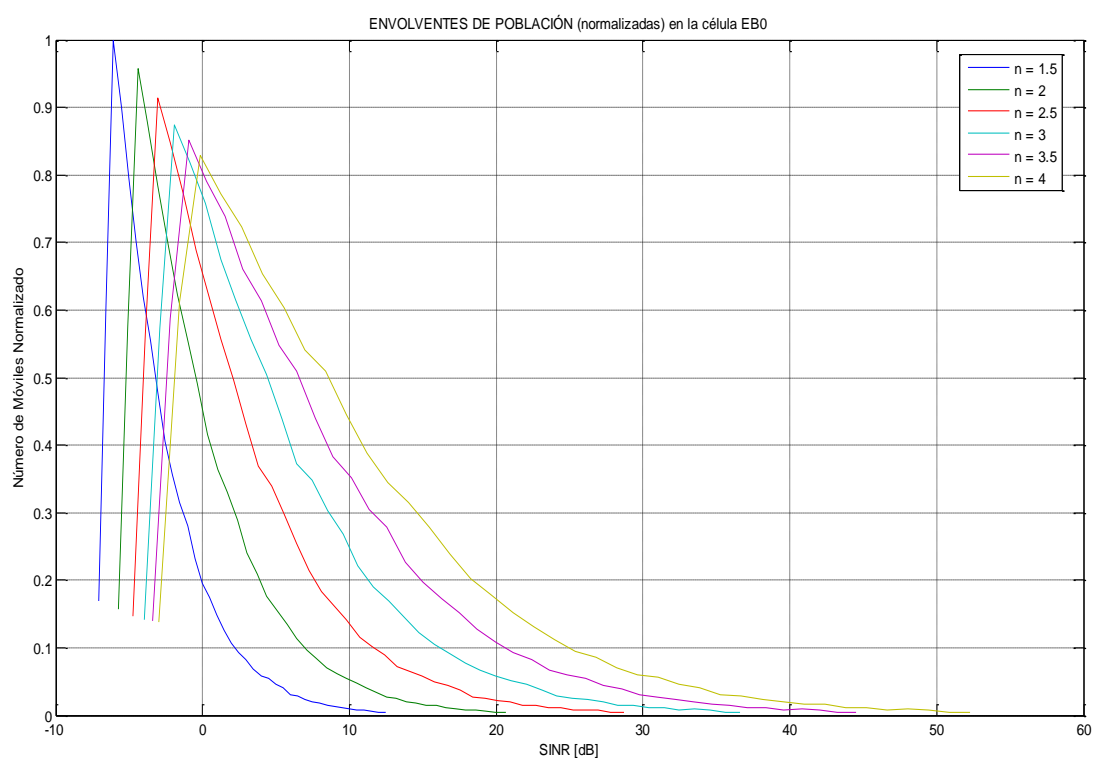


Figura de Evaluación 62: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Monobanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	35.33	51.46	70.24	90.47	111.04	131.31
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	47.24	75.00	110.39	151.65	196.53	243.04
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	73.64	128.06	198.95	280.56	367.28	455.25
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	121.43	220.01	339.73	468.35	599.05	728.78
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.46	0.77	0.96	0.99	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.15	0.35	0.55	0.70	0.80	0.86
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.03	0.12	0.25	0.38	0.49	0.58
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-6.25	-4.64	-3.31	-2.21	-1.34	-0.63
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-4.12	-1.66	0.60	2.70	4.63	6.43
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.15	0.35	0.55	0.70	0.80	0.86
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.00	0.03	0.10	0.18	0.27	0.36

Tabla de Evaluación 41:
Reutilización Celular Monobanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m.

b) Reutilización Celular Tribanda

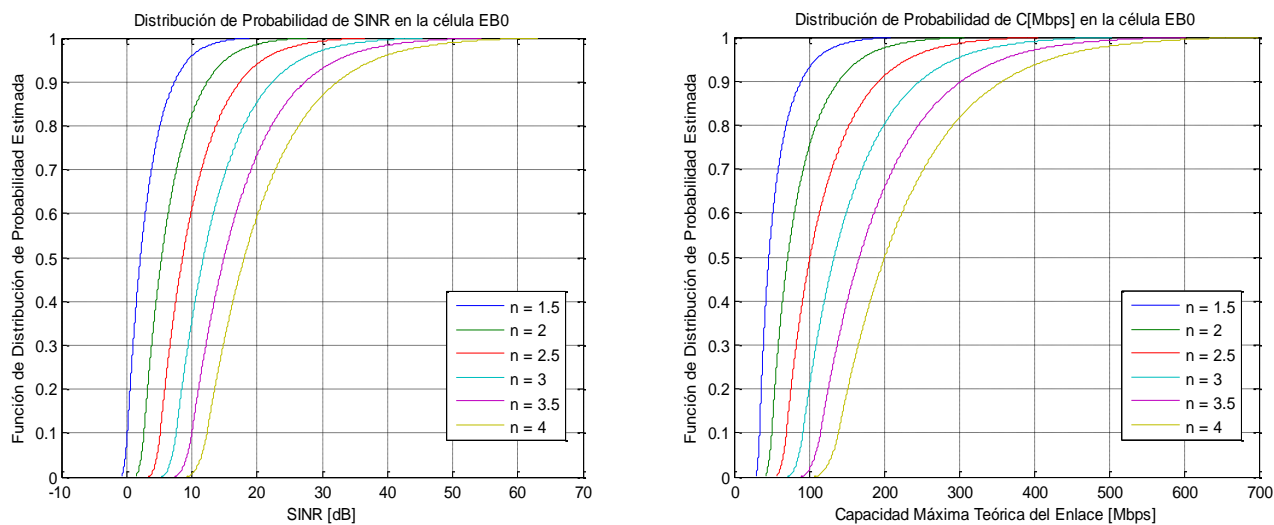


Figura de Evaluación 63: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Celular Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

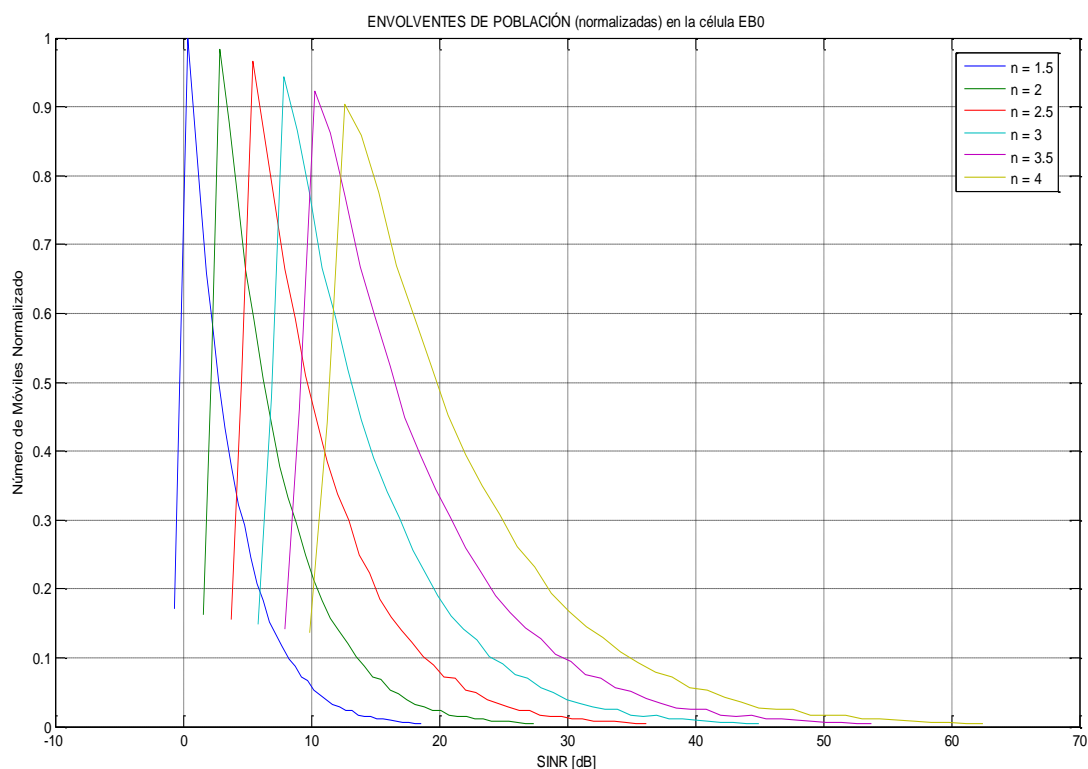
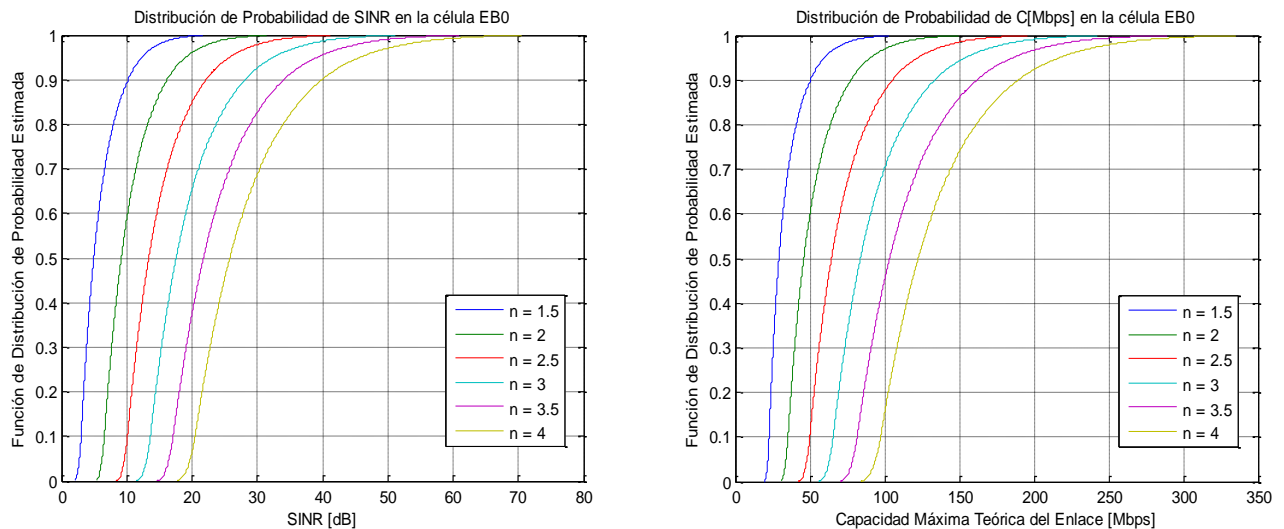


Figura de Evaluación 64: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	37.67	56.65	79.40	104.72	131.52	158.65
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	46.54	71.79	101.49	133.79	167.34	200.95
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	63.83	100.19	141.06	183.98	227.63	271.00
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	89.55	139.87	193.73	248.76	304.07	358.89
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.43	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.07	0.25	0.51	0.80	0.98	1.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.00	0.02	0.09	0.20	0.34	0.50
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.12	2.67	5.16	7.61	10.01	12.34
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.13	5.38	8.60	11.80	14.98	18.08
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.04	0.17	0.39	0.65	0.90	0.99

Tabla de Evaluación 42:Reutilización Celular Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m.

c) Reutilización Celular Heptabanda

**Figura de Evaluación 65:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Celular Heptabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

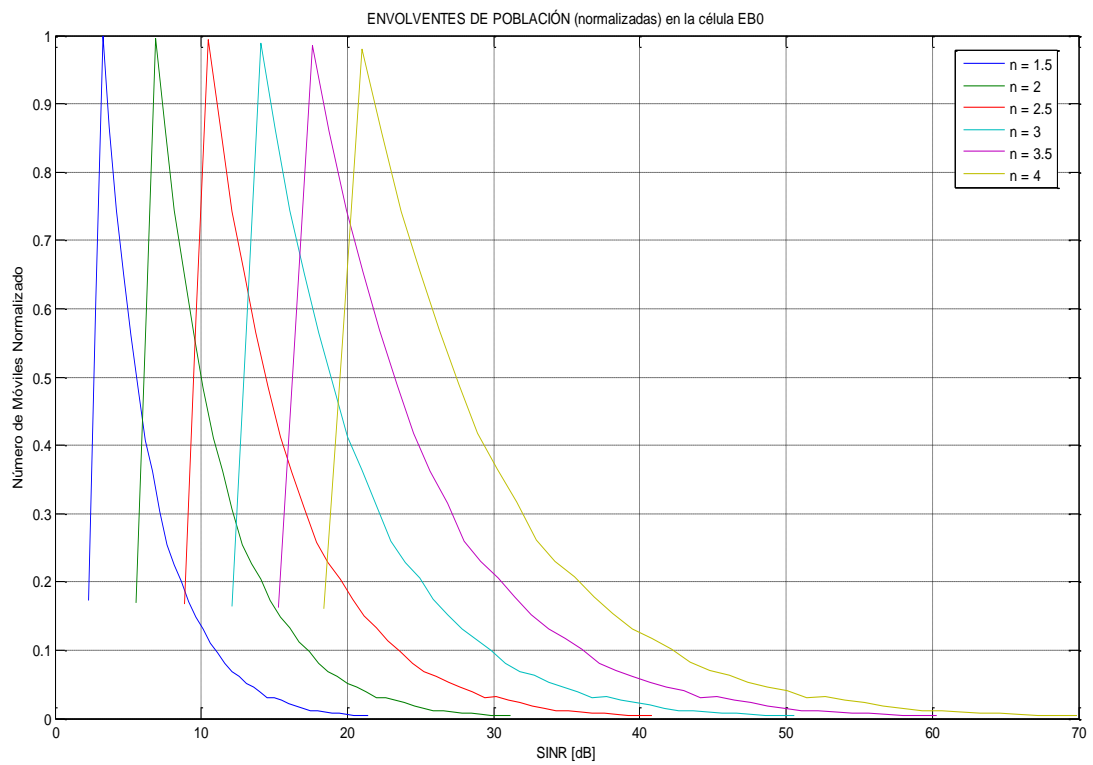


Figura de Evaluación 66: Comparativa de Envolventes de Población de SINR (Reutilización Celular Heptabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	24.61	38.51	54.38	71.23	88.44	105.27
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	29.22	45.89	64.45	83.81	103.41	122.54
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	37.86	59.18	82.03	105.39	128.85	151.76
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	50.31	77.35	105.41	133.72	162.03	189.75
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.10	0.40	0.90	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.00	0.03	0.12	0.30	0.55	0.85
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0.01	0.03	0.08
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.01	6.57	10.11	13.63	17.11	20.47
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.95	9.17	13.39	17.59	21.76	25.81
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.11	0.41	0.92	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 43:
Reutilización Celular Heptabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m.

d) Reutilización Sectorial Tribanda

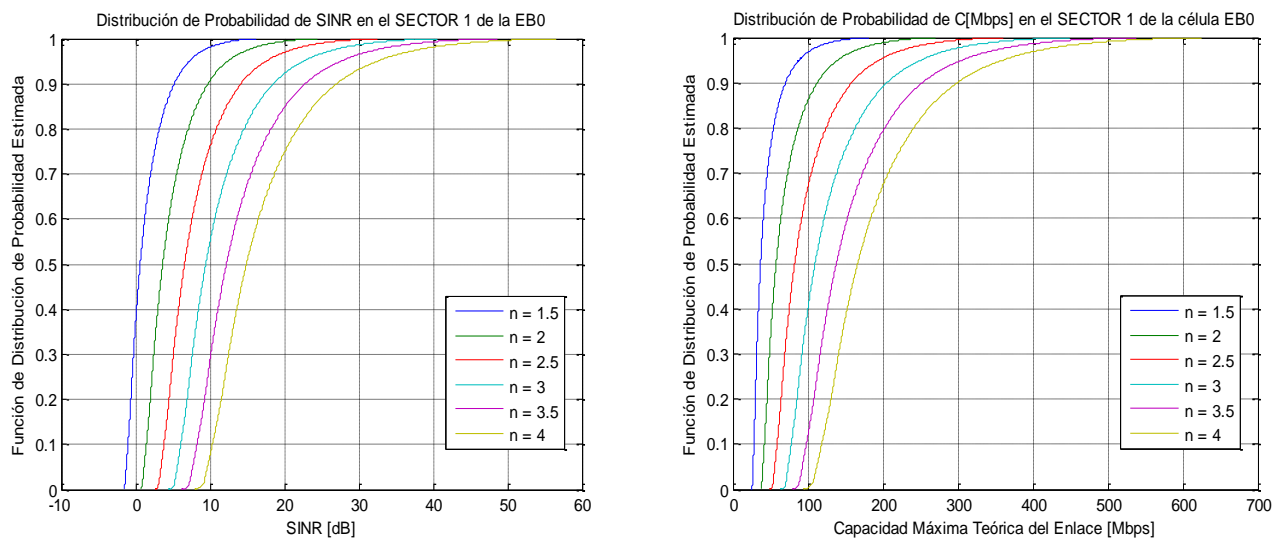


Figura de Evaluación 67: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Sectorial Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

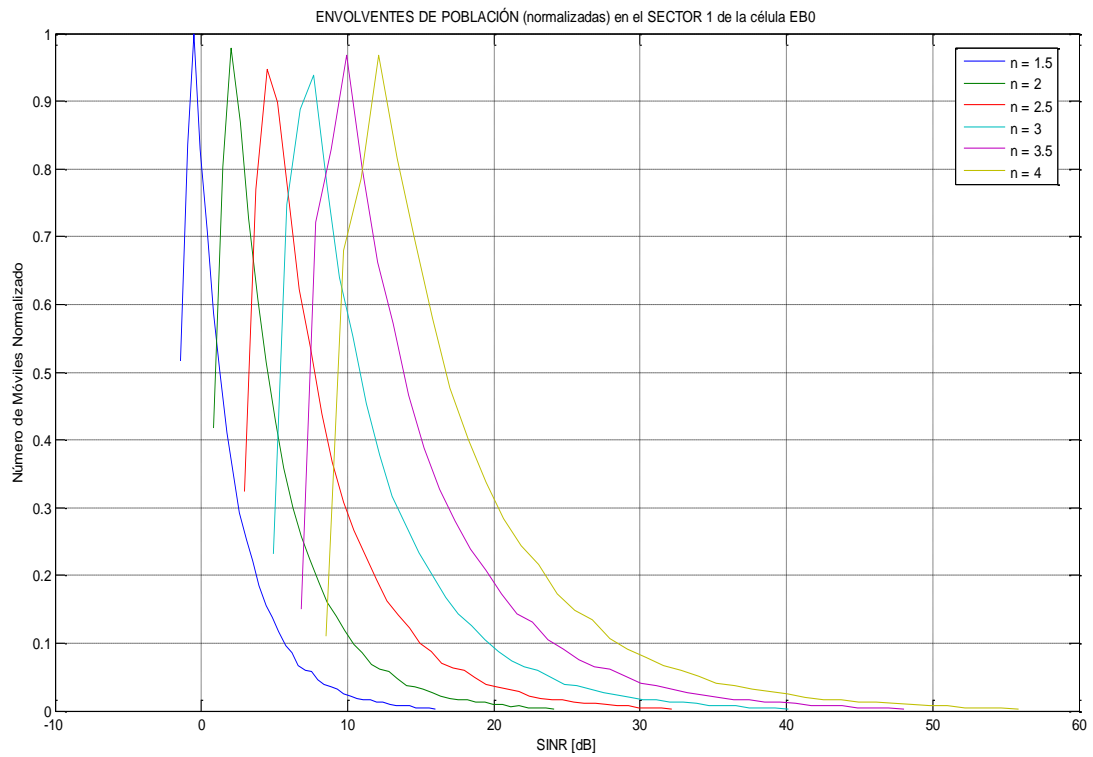


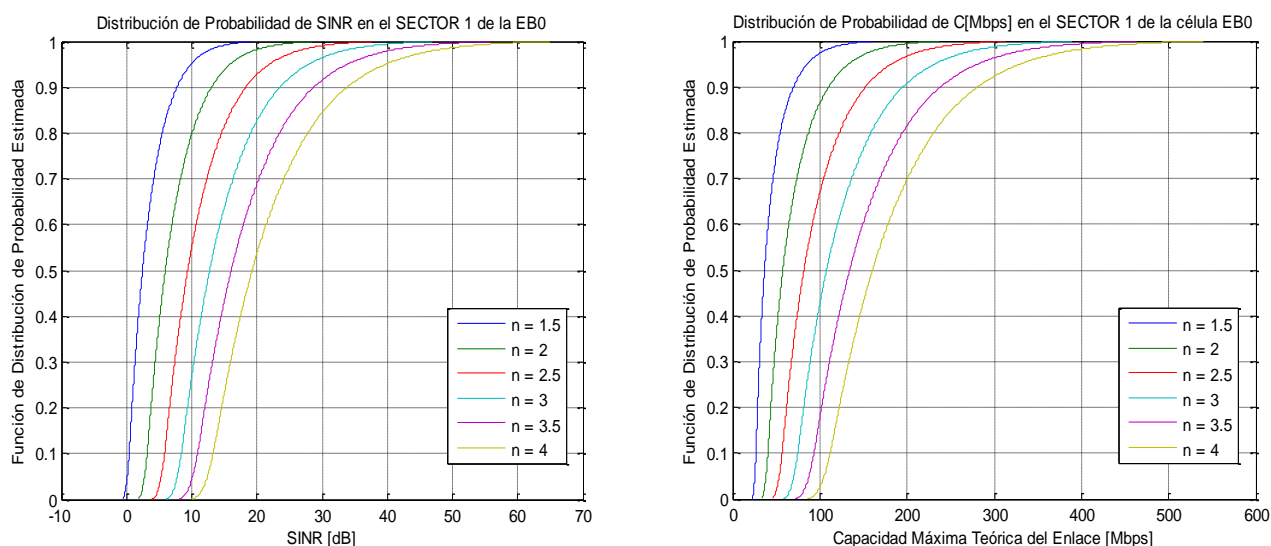
Figura de Evaluación 68: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Sectorial Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	30.79	47.02	66.73	88.82	112.25	136.00
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	36.84	57.59	82.38	109.60	137.98	166.50
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	49.49	79.14	113.22	149.35	186.03	222.47
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	70.09	112.47	158.66	205.89	253.05	299.63
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.24	0.66	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.03	0.14	0.33	0.60	0.88	1.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0.01	0.05	0.11	0.21	0.33
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.03	1.44	3.81	6.08	8.25	10.32
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	0.61	3.64	6.58	9.43	12.21	14.90
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.02	0.09	0.24	0.45	0.71	0.92

Tabla de Evaluación 44:

Reutilización Sectorial Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m.

e) Reutilización Sectorial Tetrabanda

**Figura de Evaluación 69:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Reutilización Sectorial Tetrabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

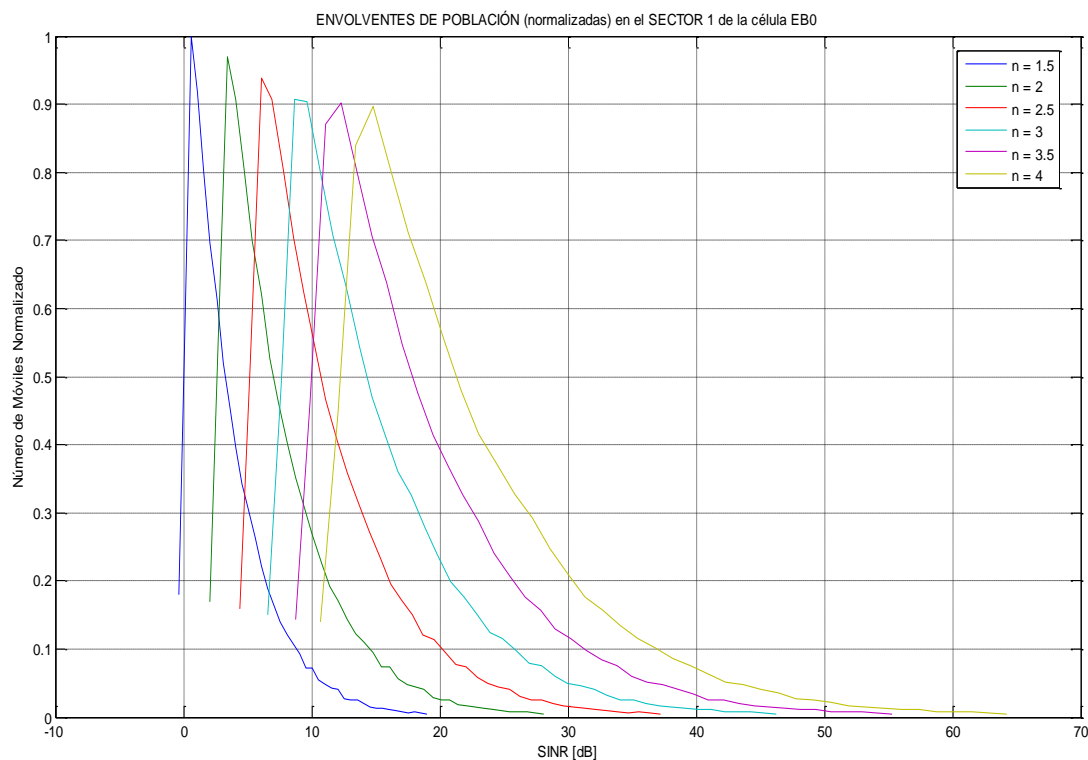


Figura de Evaluación 70: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Sectorial Tetrabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	29.64	45.65	64.56	85.14	106.46	127.67
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	36.57	57.57	81.87	107.77	134.24	160.42
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	50.05	79.70	112.55	146.58	180.82	214.55
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	69.78	110.03	152.65	195.84	238.92	281.45
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.25	0.65	0.98	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.03	0.14	0.33	0.58	0.82	0.97
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0.01	0.03	0.09	0.18	0.30
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.40	3.17	5.83	8.41	10.90	13.28
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.45	5.95	9.38	12.75	16.06	19.27
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.20	0.45	0.73	0.96	1.00

Tabla de Evaluación 45:
Reutilización Sectorial Tetrabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m.

f) Reutilización FFR Bibanda

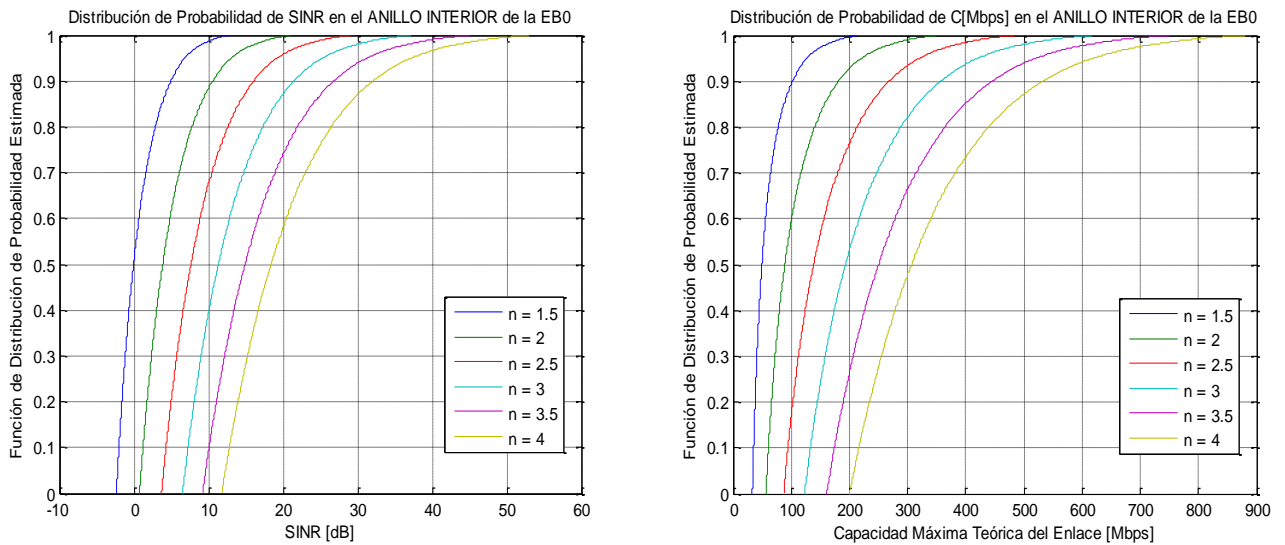


Figura de Evaluación 71: Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$
 (Anillo Interior en Reutilización FFR Bibanda, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	39.35	69.07	107.57	151.53	197.94	244.89
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	49.61	89.09	138.75	193.65	250.33	307.05
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	70.38	127.54	195.02	266.16	337.85	408.92
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	102.29	181.68	269.01	357.88	446.29	533.72
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.11	0.41	0.83	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.00	0.07	0.24	0.47	0.74	1.00
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-2.02	1.21	4.29	7.25	10.07	12.79
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-0.05	3.87	7.67	11.35	14.93	18.42
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.01	0.12	0.32	0.61	0.91	1.00

Tabla de Evaluación 46:
 Anillo Interior en Reutilización FFR Bibanda, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m.

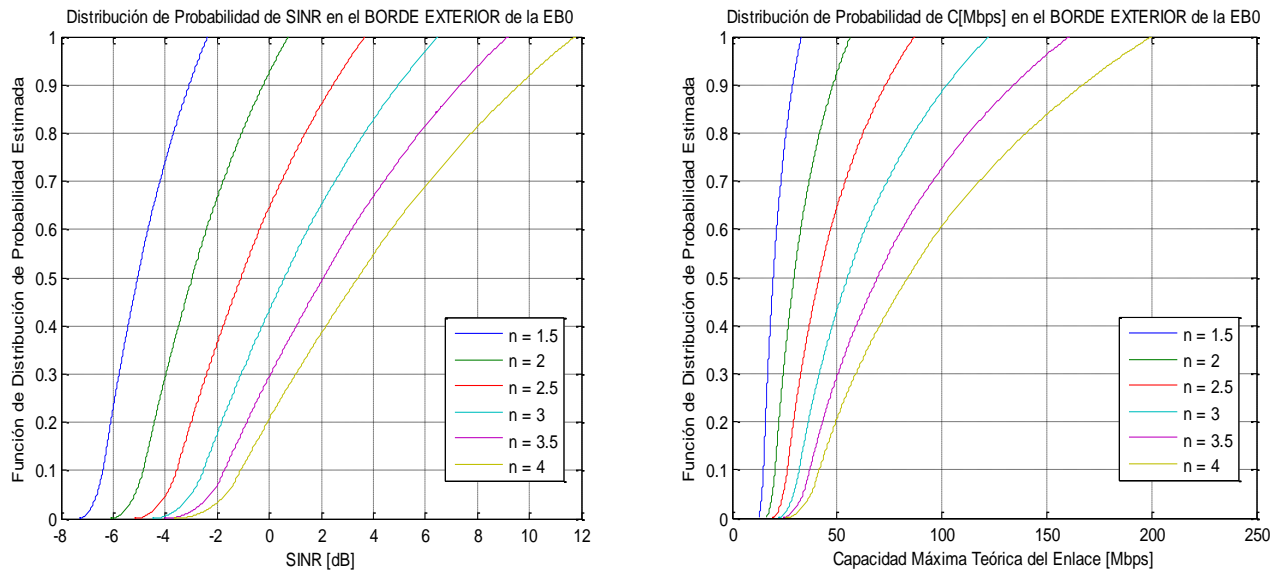


Figura de Evaluación 72: Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Borde Exterior en Reutilización FFR Bibanda, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	16.39	23.26	30.94	38.87	46.60	53.85
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	19.60	29.52	41.54	55.05	69.33	83.84
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	24.43	39.13	57.99	80.04	104.05	129.00
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	28.87	48.08	73.17	102.62	134.58	167.53
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.07	0.35	0.57	0.71	0.79
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0.11	0.27	0.39
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.00
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-6.39	-4.84	-3.56	-2.53	-1.73	-1.10
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-5.05	-2.96	-1.09	0.59	2.08	3.42
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0	0.07	0.35	0.57	0.71	0.79
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0	0	0	0	0	0.08

Tabla de Evaluación 47:
Borde Exterior en Reutilización FFR Bibanda, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m.

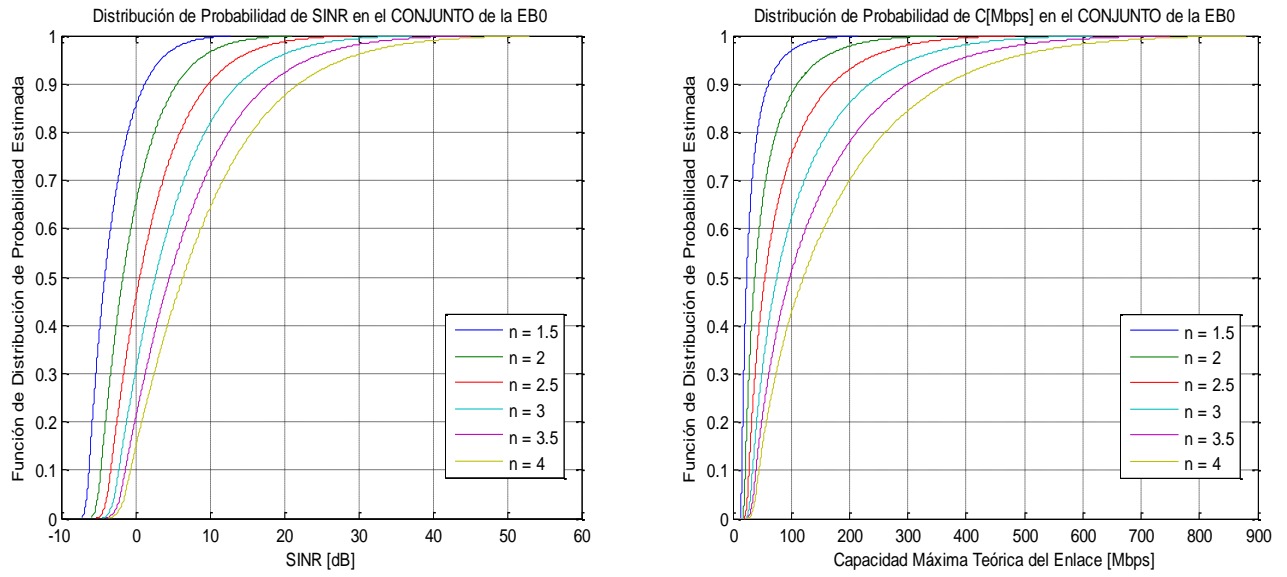


Figura de Evaluación 73: Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

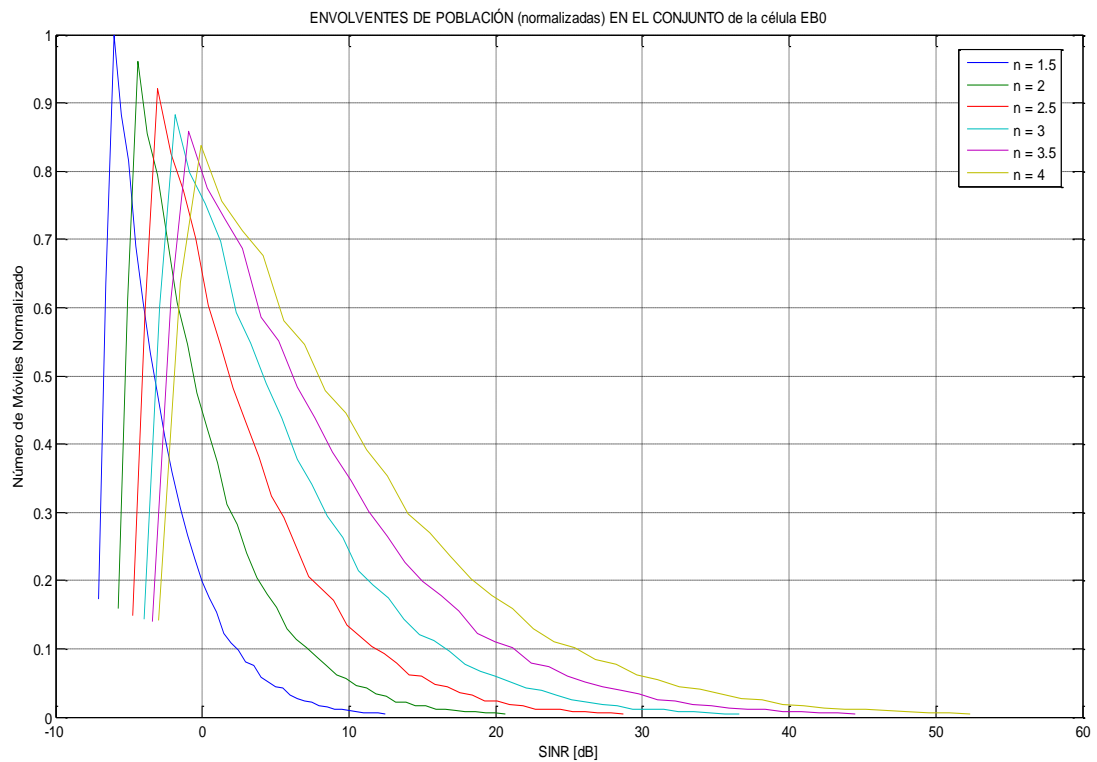


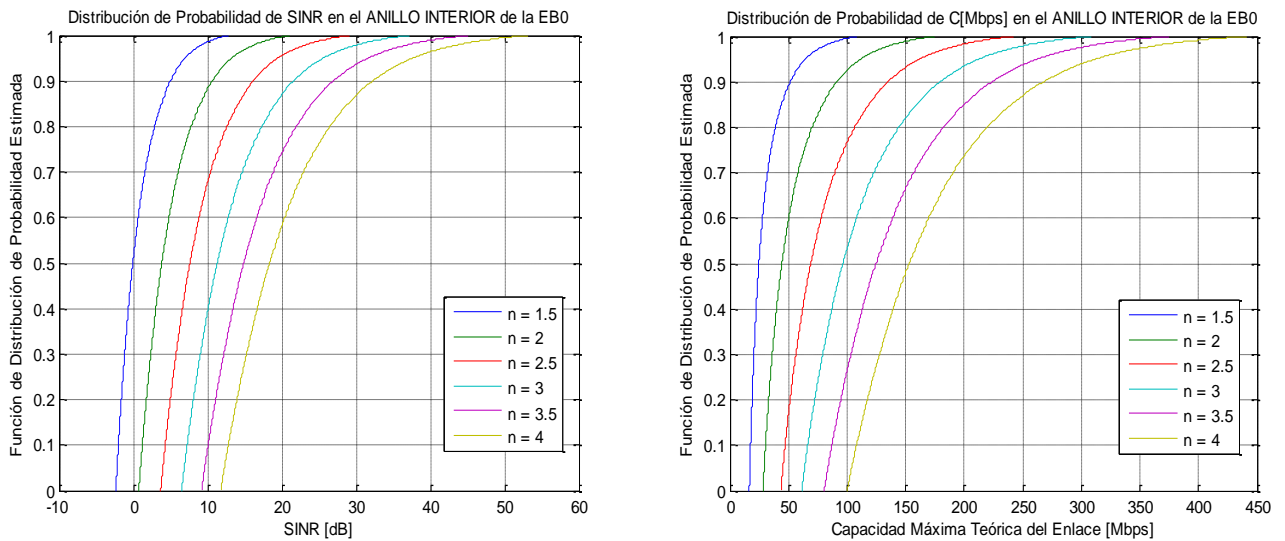
Figura de Evaluación 74: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	17.62	25.64	34.95	44.96	55.17	65.19
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	23.58	37.43	55.09	75.65	98.04	121.24
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	36.86	64.12	99.63	140.49	183.93	228.07
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	60.92	110.38	170.42	234.88	300.40	365.52
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.15	0.35	0.55	0.70	0.79	0.85
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.03	0.12	0.25	0.38	0.49	0.58
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.00	0.02	0.07	0.14	0.22	0.30
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-6.26	-4.66	-3.32	-2.24	-1.37	-0.66
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-4.13	-1.67	0.59	2.68	4.61	6.40
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.15	0.35	0.55	0.70	0.79	0.85
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.00	0.03	0.10	0.18	0.27	0.36

Tabla de Evaluación 48:

Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

g) Reutilización FFR 3+1

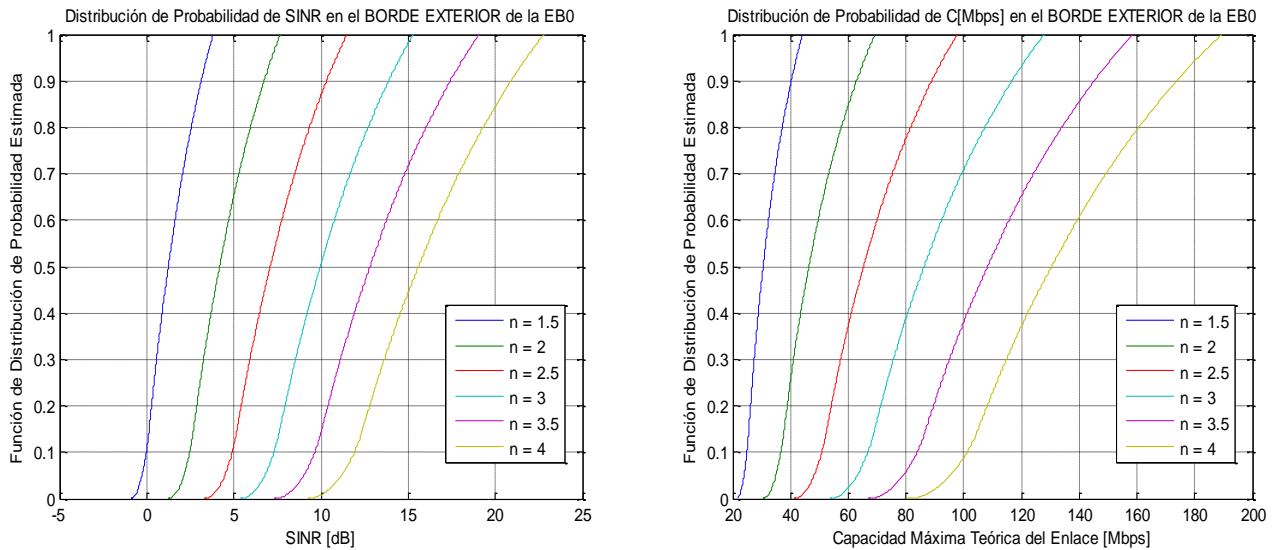
Figura de Evaluación 75: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$ (Anillo Interior en Reutilización FFR 3+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	19.65	34.48	53.69	75.64	98.82	122.29
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	24.70	44.36	69.09	96.45	124.72	153.03
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	35.07	63.56	97.22	132.71	168.49	203.99

$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	51.52	91.44	135.31	179.93	224.31	268.23
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.11	0.40	0.83	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.00	0.08	0.23	0.47	0.74	1.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0.02	0.07	0.15	0.26
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-2.02	1.21	4.29	7.24	10.07	12.79
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-0.07	3.84	7.63	11.30	14.88	18.36
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.01	0.12	0.32	0.61	0.91	1.00

Tabla de Evaluación 49:

Anillo Interior en Reutilización FFR 3+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

**Figura de Evaluación 76:** Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Borde Exterior en Reutilización FFR 3+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	26.78	39.93	55.73	73.41	92.21	111.36
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	30.53	46.42	65.35	86.26	108.22	130.43
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	35.79	55.34	78.25	103.10	128.87	154.73
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	40.28	62.82	88.82	116.64	145.22	173.80
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.39	0.92	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0.29	0.62	0.91
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-0.02	2.47	4.91	7.30	9.64	11.92

$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	1.24	4.19	7.09	9.97	12.81	15.59
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0	0	0.13	0.50	0.86	0.99

Tabla de Evaluación 50:

Anillo Exterior en Reutilización FFR 3+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m.

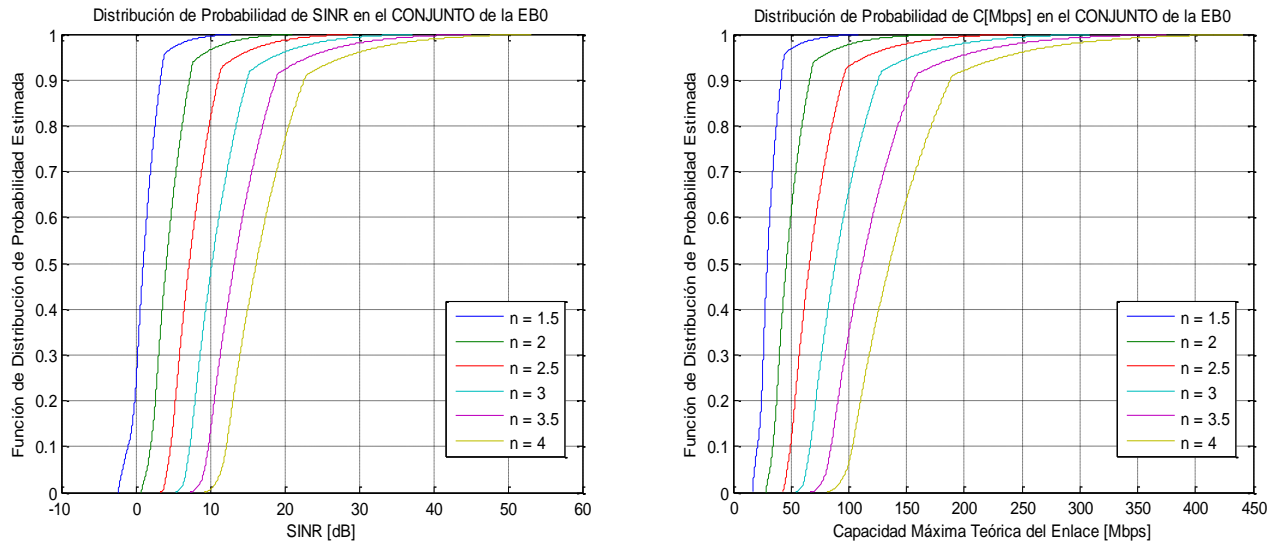


Figura de Evaluación 77: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

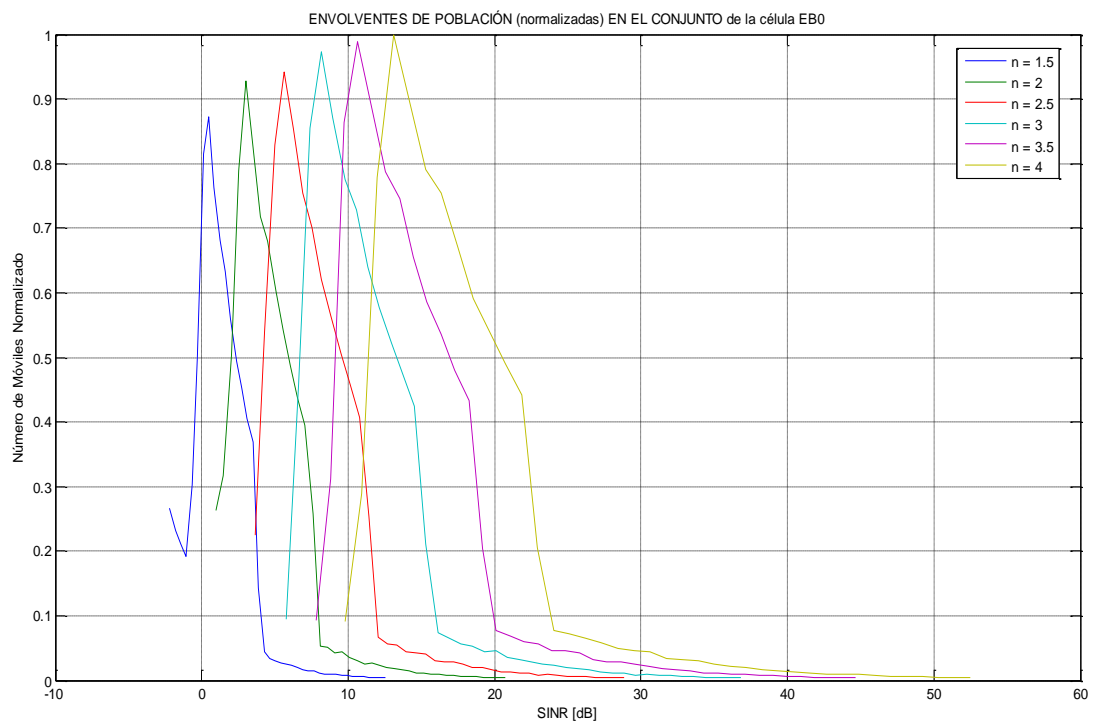
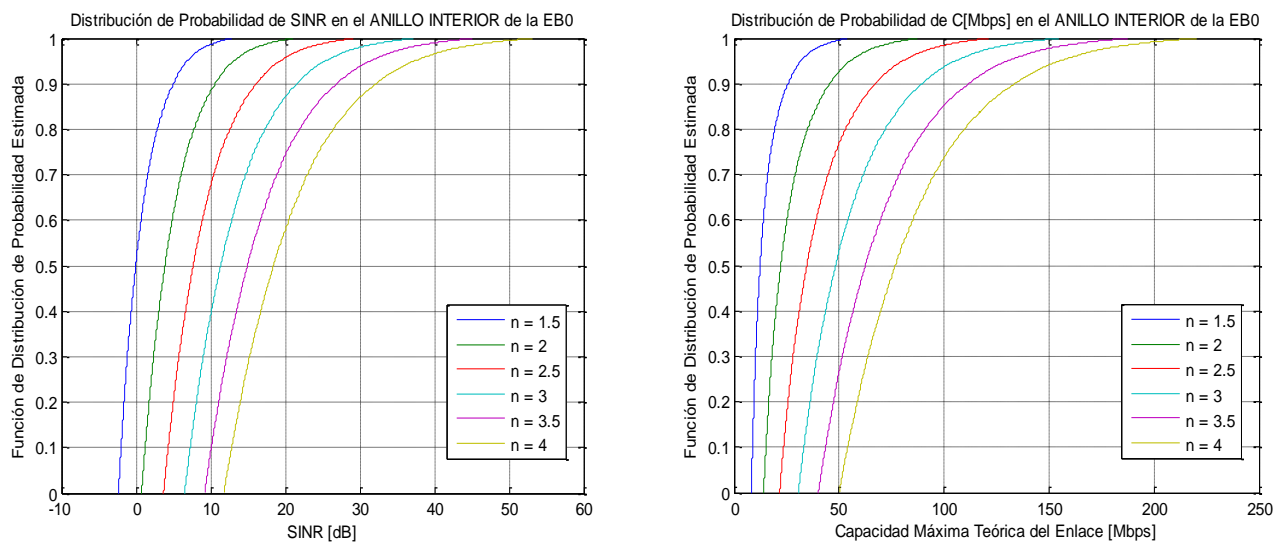


Figura de Evaluación 78: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	25.39	38.79	55.30	73.92	93.70	113.85
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	29.47	46.03	66.09	88.45	111.86	135.52
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	35.69	56.65	81.57	108.53	136.39	164.33
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	41.45	66.24	94.96	125.48	156.87	187.98
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.03	0.39	0.89	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.00	0.02	0.07	0.34	0.65	0.94
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.02	0.05	0.08
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.01	2.01	4.70	7.28	9.78	12.19
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	1.02	4.12	7.20	10.26	13.27	16.22
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.77	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.00	0.04	0.19	0.53	0.87	0.99

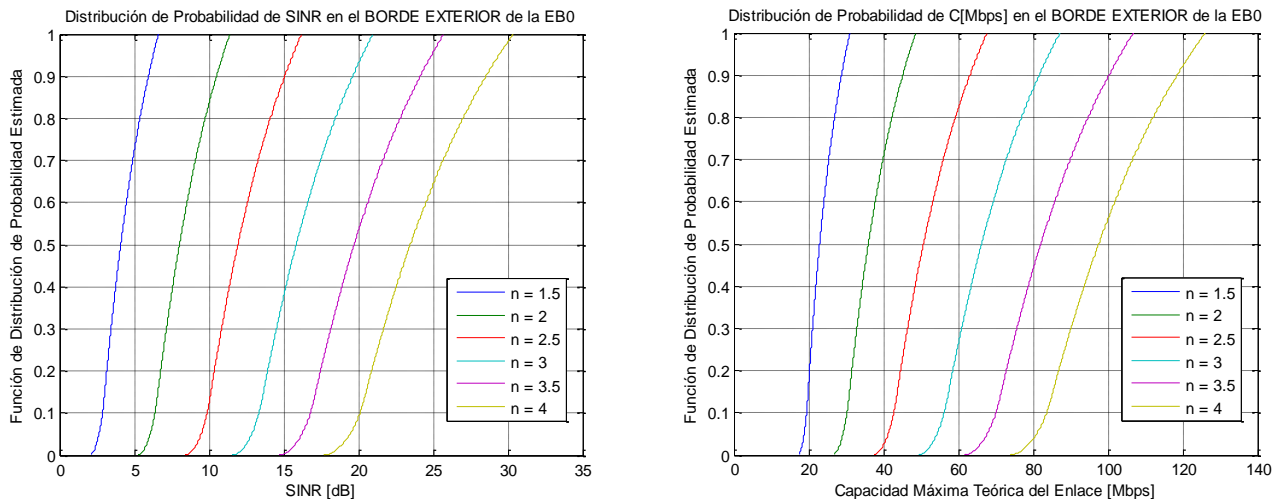
Tabla de Evaluación 51:Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

h) Reutilización FFR 7+1

**Figura de Evaluación 79:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$ (Anillo Interior en Reutilización FFR 7+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	9.81	17.22	26.82	37.78	49.37	61.11
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	12.40	22.28	34.70	48.43	62.60	76.81
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	17.46	31.64	48.41	66.11	83.95	101.66
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	25.70	45.62	67.53	89.80	111.97	133.91
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.73	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.00	0.07	0.23	0.47	0.74	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0.02	0.06	0.15	0.26
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.01
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-2.01	1.22	4.31	7.26	10.10	12.82
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-0.05	3.87	7.67	11.36	14.94	18.43
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.01	0.12	0.32	0.61	0.91	1.00

Tabla de Evaluación 52:

Anillo Interior en Reutilización FFR 7+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m.Figura de Evaluación 80: Curvas de CDF($SINR[dB]$) y CDF($R[Mbps]$)(Borde Exterior en Reutilización FFR 7+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200$ m).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	20.62	32.20	45.51	59.70	74.25	88.49
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	22.93	35.95	50.69	66.23	82.05	97.52
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	26.12	41.02	57.56	74.78	92.20	109.22
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	28.80	45.19	63.12	81.64	100.30	118.53
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.53	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0.10	0.44

$P_r(C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r(SINR \leq SINR_x)=0.1$	2.87	6.39	9.88	13.35	16.79	20.10
$SINR_x / P_r(SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.09	8.02	11.94	15.84	19.71	23.46
$P_r(SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r(SINR > 10 \text{ dB})$	0	0.16	0.88	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 53:

Borde Exterior en Reutilización FFR 7+1, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

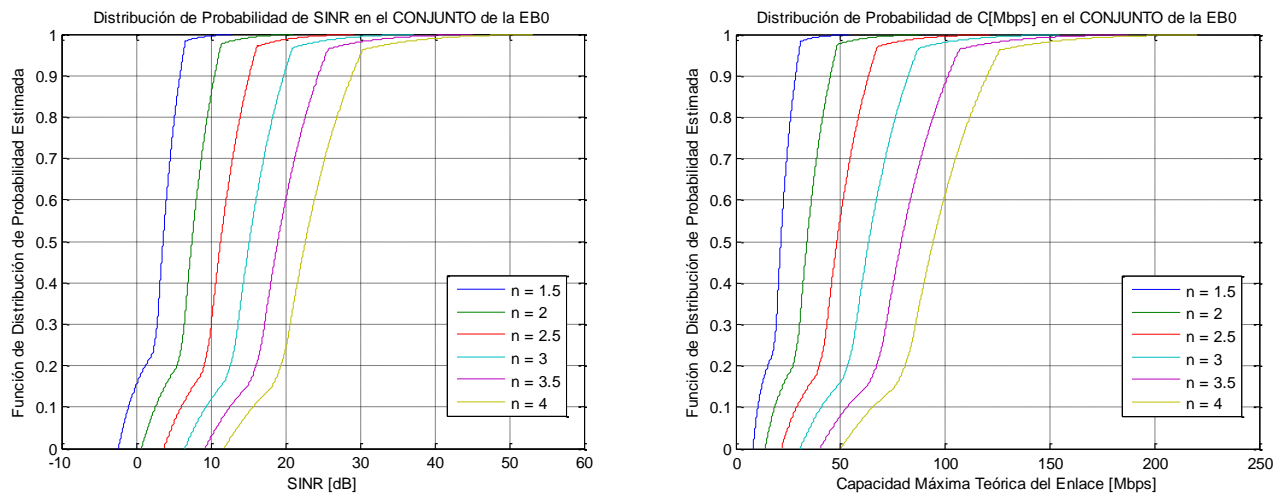


Figura de Evaluación 81: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

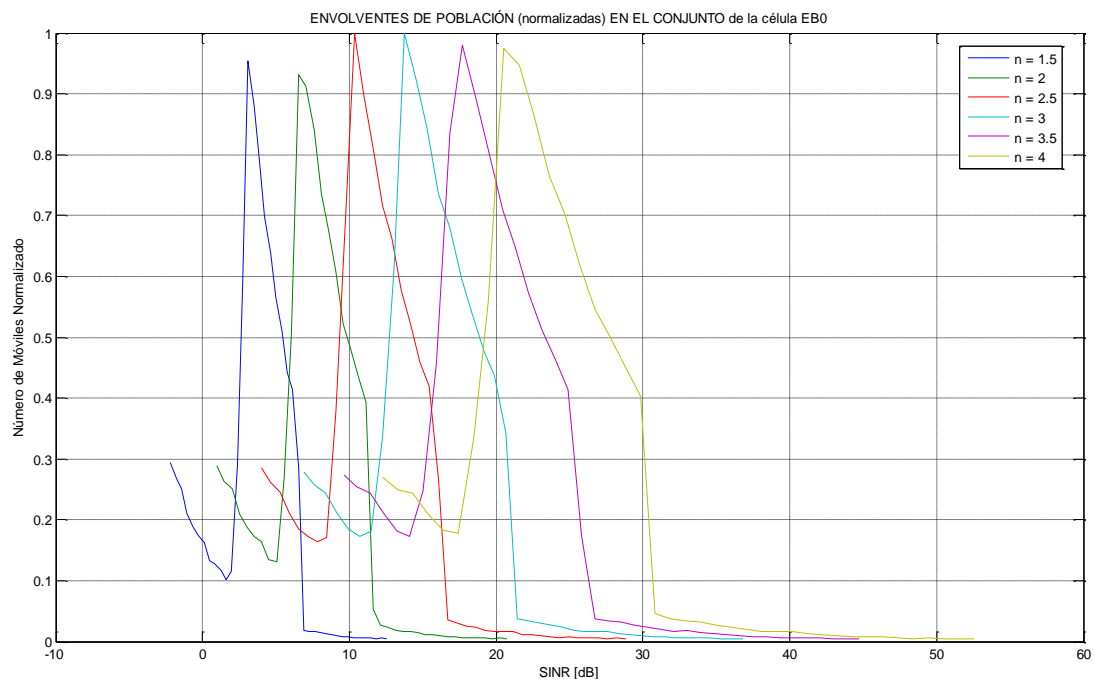
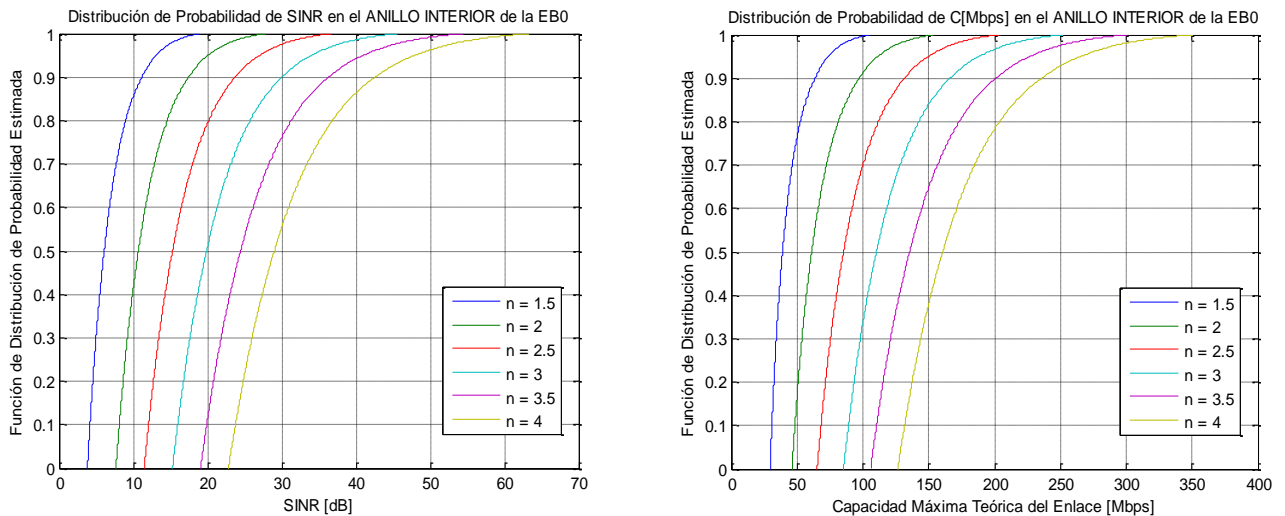


Figura de Evaluación 82: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	18.30	29.30	42.13	55.87	69.99	83.87
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	21.49	33.99	48.33	63.55	79.08	94.30
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	25.20	39.94	56.49	73.76	91.21	108.29
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	28.56	45.23	63.49	82.35	101.34	119.98
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.00	0.02	0.44	0.84	0.92	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.02	0.12	0.39
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.00
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.02	2.56	6.01	9.34	12.56	15.68
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	3.60	7.47	11.33	15.18	18.99	22.69
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.00	0.15	0.71	0.88	0.97	1.00

Tabla de Evaluación 54:Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

i) Reutilización FFR 3+3

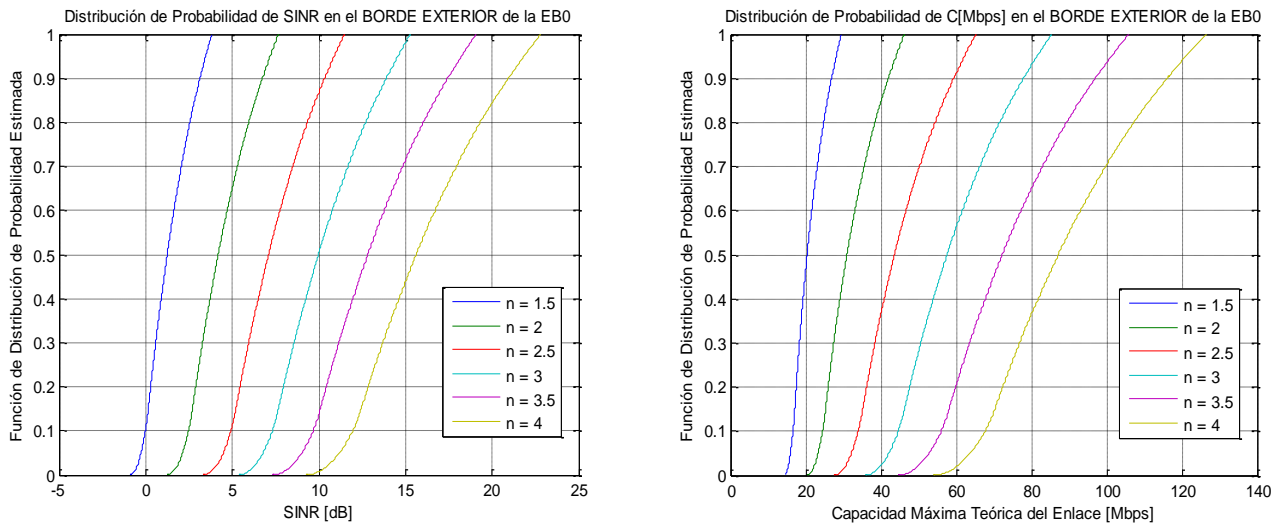
**Figura de Evaluación 83:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$ (Anillo Interior en Reutilización FFR 3+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	33.26	52.23	73.43	95.60	118.12	140.61
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	39.02	61.22	85.43	110.42	135.63	160.77
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	49.12	76.39	105.23	134.54	163.97	193.29

$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	63.53	97.11	131.71	166.54	201.40	236.12
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.24	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.00	0.09	0.30	0.66	1.00	1.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.03	0.10	0.22
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	4.17	8.12	12.06	15.99	19.90	23.78
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	6.09	10.70	15.30	19.90	24.48	29.03
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.14	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 55:

Anillo Interior en Reutilización FFR 3+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

**Figura de Evaluación 84:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Borde Exterior en Reutilización FFR 3+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	17.89	26.69	37.26	49.09	61.67	74.54
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	20.37	30.96	43.60	57.55	72.22	87.10
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	23.87	36.90	52.18	68.76	85.95	103.27
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	26.89	41.94	59.30	77.86	96.95	116.10
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.31	0.72	0.98	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0.06	0.30
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-0.01	2.48	4.92	7.32	9.67	11.95

$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x) = 0.5$	1.25	4.19	7.10	9.98	12.82	15.61
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$	0	0	0.13	0.50	0.86	0.99

Tabla de Evaluación 56:

Borde Exterior en Reutilización FFR 3+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

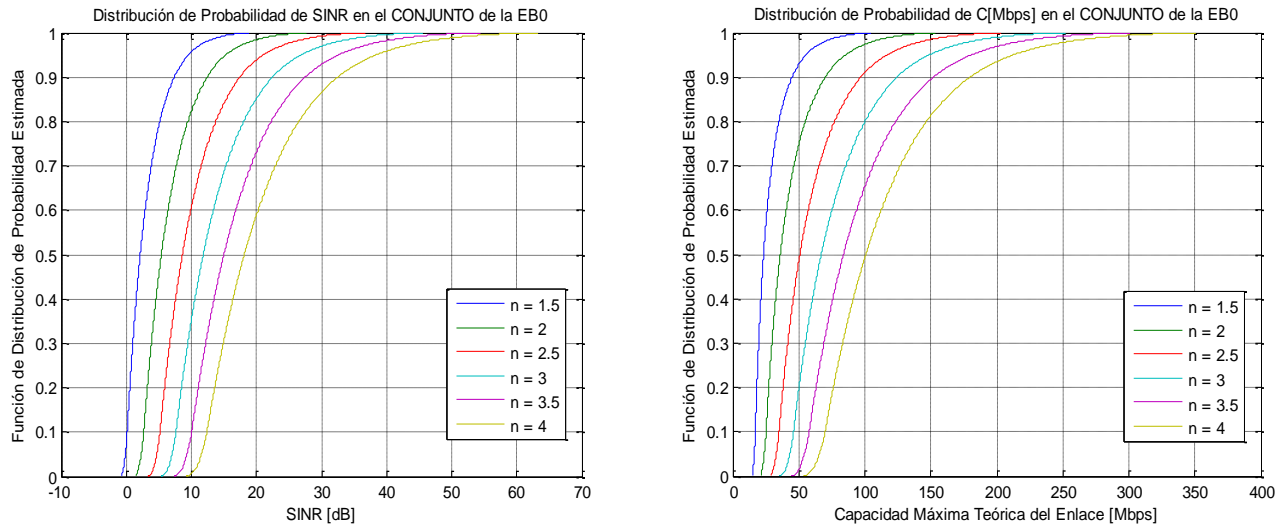


Figura de Evaluación 85: Curvas de $\text{CDF}(\text{SINR}[\text{dB}])$ y $\text{CDF}(R[\text{Mbps}])$
(Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

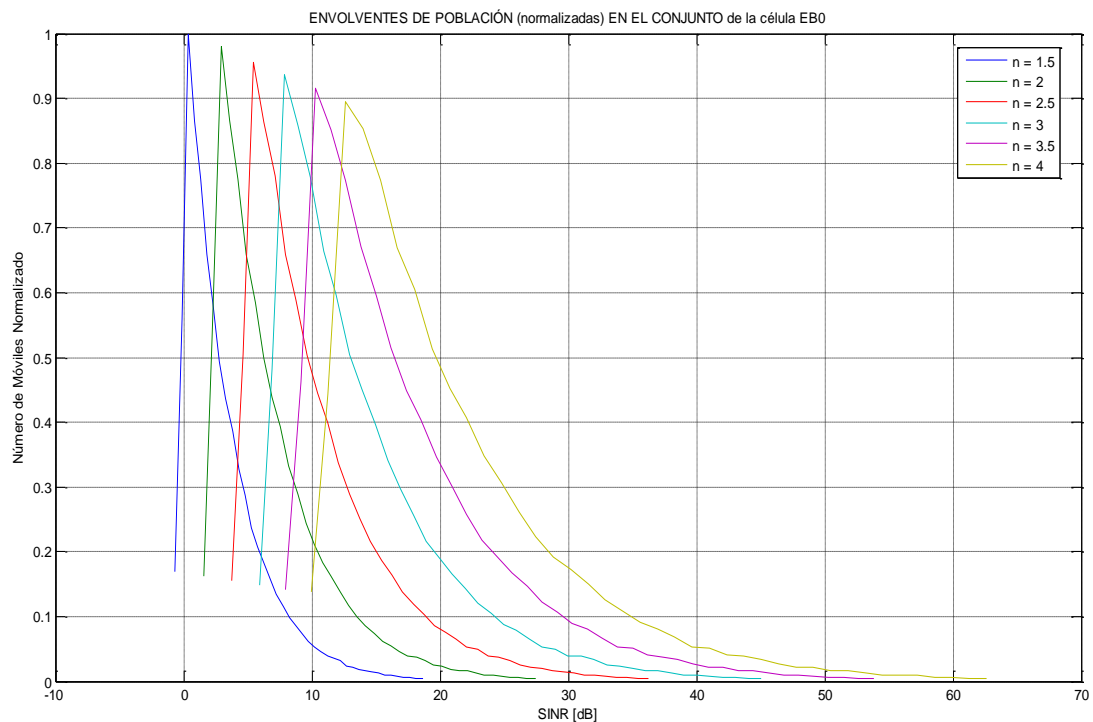


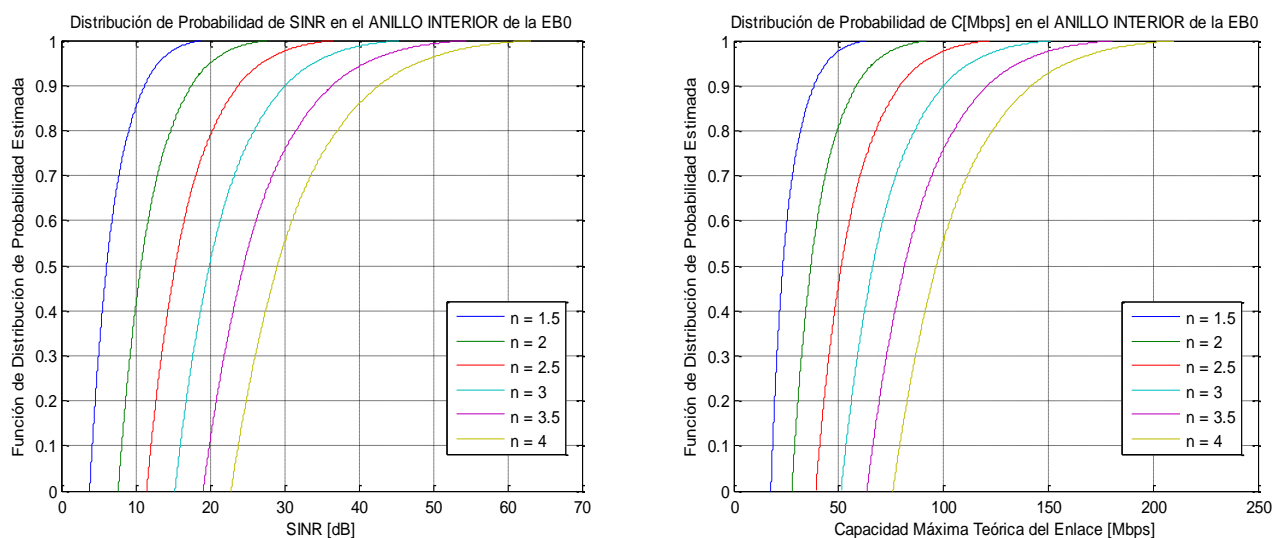
Figura de Evaluación 86: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	18.87	28.38	39.78	52.48	65.92	79.61
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	23.32	35.98	50.87	67.05	83.88	100.84
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	31.95	50.15	70.61	92.09	113.95	135.80
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	44.96	70.22	97.23	124.83	152.58	180.23
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.07	0.25	0.52	0.80	0.99	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.00	0.03	0.09	0.20	0.35	0.51
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.01	0.03	0.07
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.13	2.68	5.18	7.63	10.04	12.39
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.14	5.40	8.63	11.84	15.02	18.15
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.04	0.18	0.39	0.65	0.90	1.00

Tabla de Evaluación 57:

Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

j) Reutilización FFR 7+3

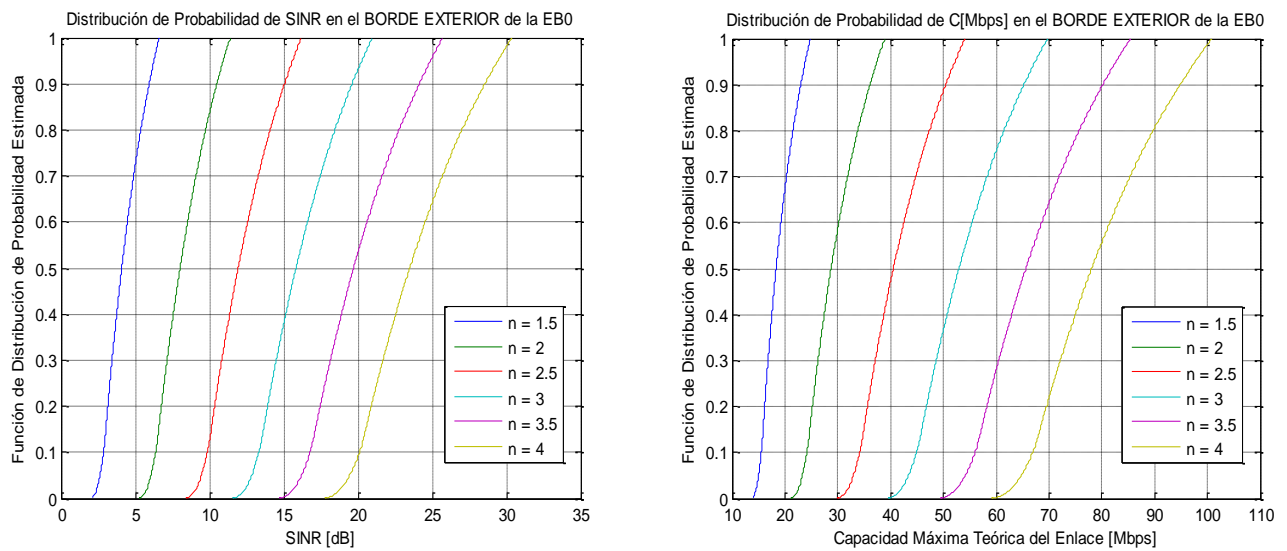
Figura de Evaluación 87: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$ (Anillo Interior en Reutilización FFR 7+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

ANILLO INTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	20.03	31.45	44.21	57.55	71.10	84.67
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	23.46	36.80	51.35	66.36	81.52	96.66

$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	29.72	46.19	63.59	81.28	99.04	116.76
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	38.24	58.44	79.24	100.18	121.15	142.07
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.02	0.19	0.54	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0.02	0.10	0.24	0.45
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.00
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	4.17	8.13	12.07	16.00	19.92	23.80
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	6.11	10.73	15.33	19.93	24.52	29.09
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.15	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 58:

Anillo Interior en Reutilización FFR 7+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

**Figura de Evaluación 88:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$

(Borde Exterior en Reutilización FFR 7+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

BORDE EXTERIOR						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	16.48	25.73	36.36	47.71	59.34	70.80
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	18.33	28.75	40.53	52.96	65.62	78.06
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	20.88	32.80	46.02	59.79	73.73	87.42
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	23.01	36.12	50.45	65.25	80.18	94.83
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.11	0.63	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.01
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	2.87	6.37	9.86	13.33	16.77	20.10

$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x) = 0.5$	4.09	8.02	11.93	15.83	19.71	23.48
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$	0	0.16	0.88	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 59:

Borde Exterior en Reutilización FFR 7+3, con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

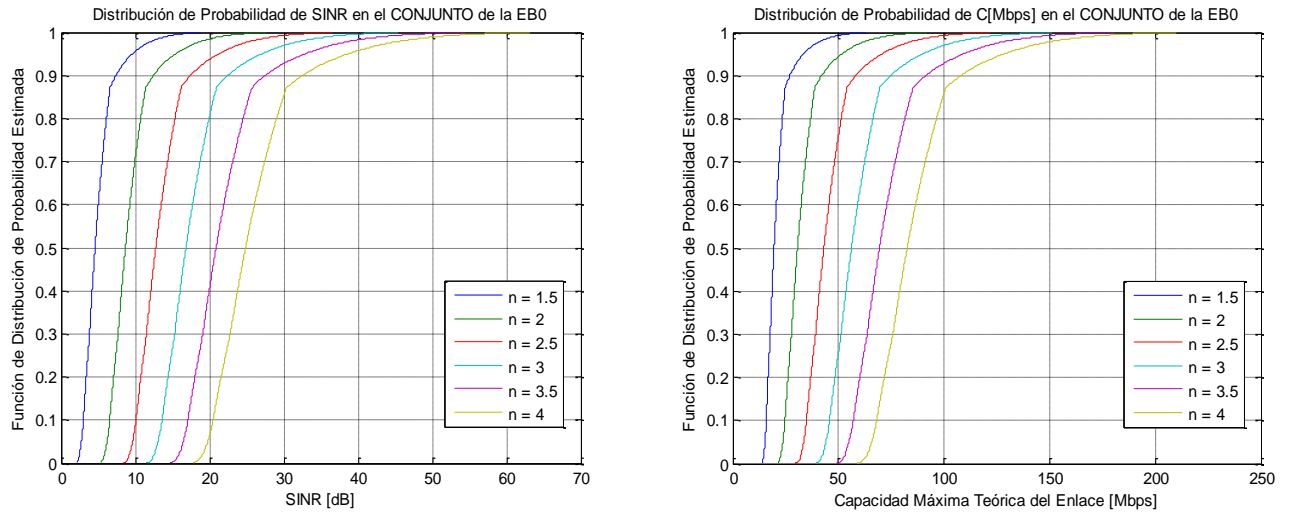


Figura de Evaluación 89: Curvas de $\text{CDF}(\text{SINR}[\text{dB}])$ y $\text{CDF}(R[\text{Mbps}])$
(Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

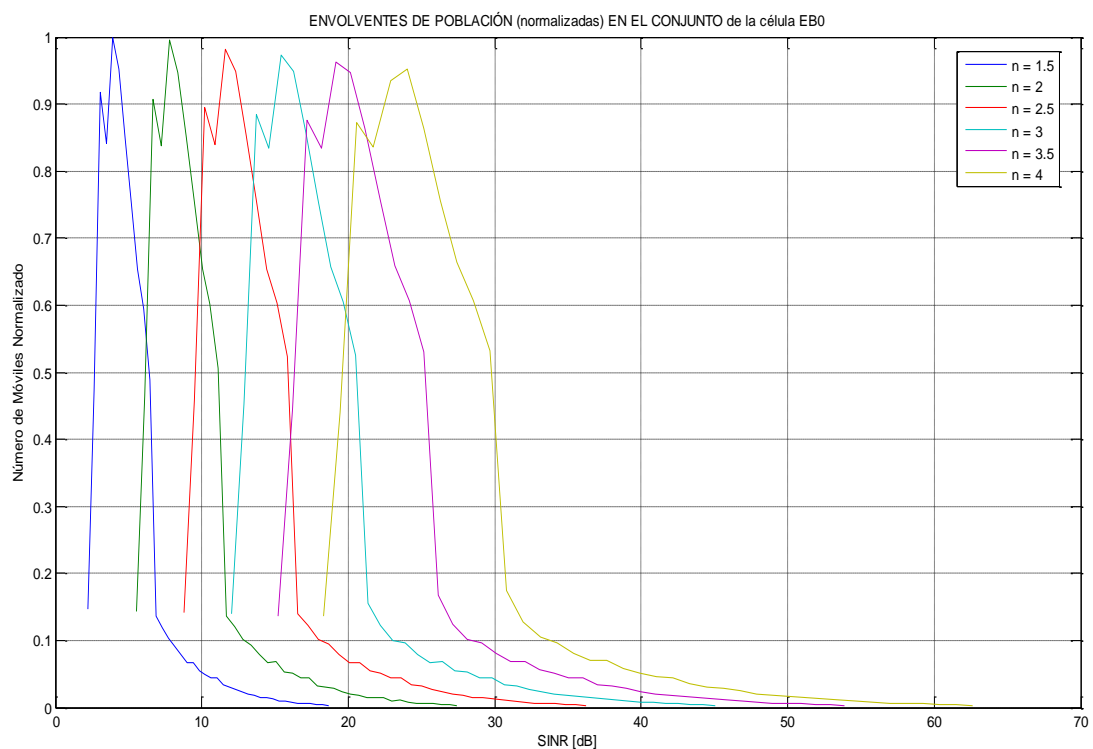


Figura de Evaluación 90: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	17.21	26.93	38.03	49.81	61.86	73.72
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	19.52	30.65	43.12	56.19	69.47	82.61
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	22.67	35.58	49.73	64.37	79.15	93.75
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	26.97	42.13	58.33	74.89	91.55	108.17
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.01	0.06	0.24	0.74	1.00	1.00
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0.01	0.03	0.07	0.14
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.00
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.00	6.56	10.09	13.61	17.09	20.48
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.58	8.67	12.76	16.83	20.88	24.85
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.29	0.91	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 60:

Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=200 \text{ m}$.

3.4.1.2. Asignación de Ancho de Banda Fijo al Radiocanal

Bajo este criterio, se pretende evaluar los escenarios en condiciones de equidad de ancho de banda del radiocanal de trabajo, estableciéndose un ancho de banda de 5 MHz en las simulaciones.

3.4.1.2.1. Población Uniformemente Distribuida

Se prescindirá de dibujar las gráficas del anillo interior y borde exterior en los escenarios FFR.

a) Reutilización Celular Monobanda

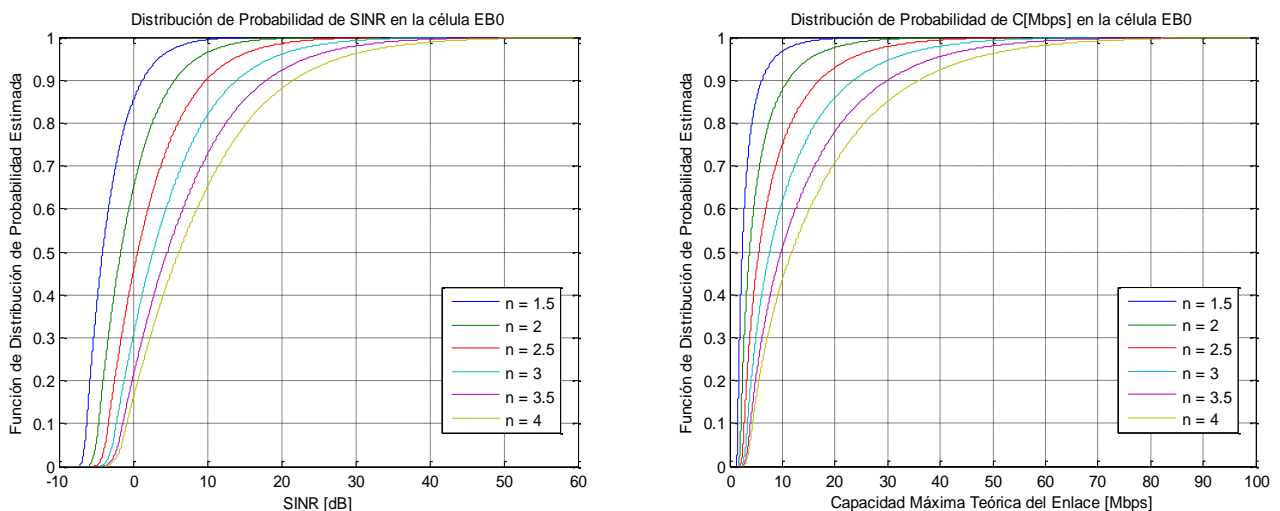


Figura de Evaluación 91: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Celular Monobanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$).

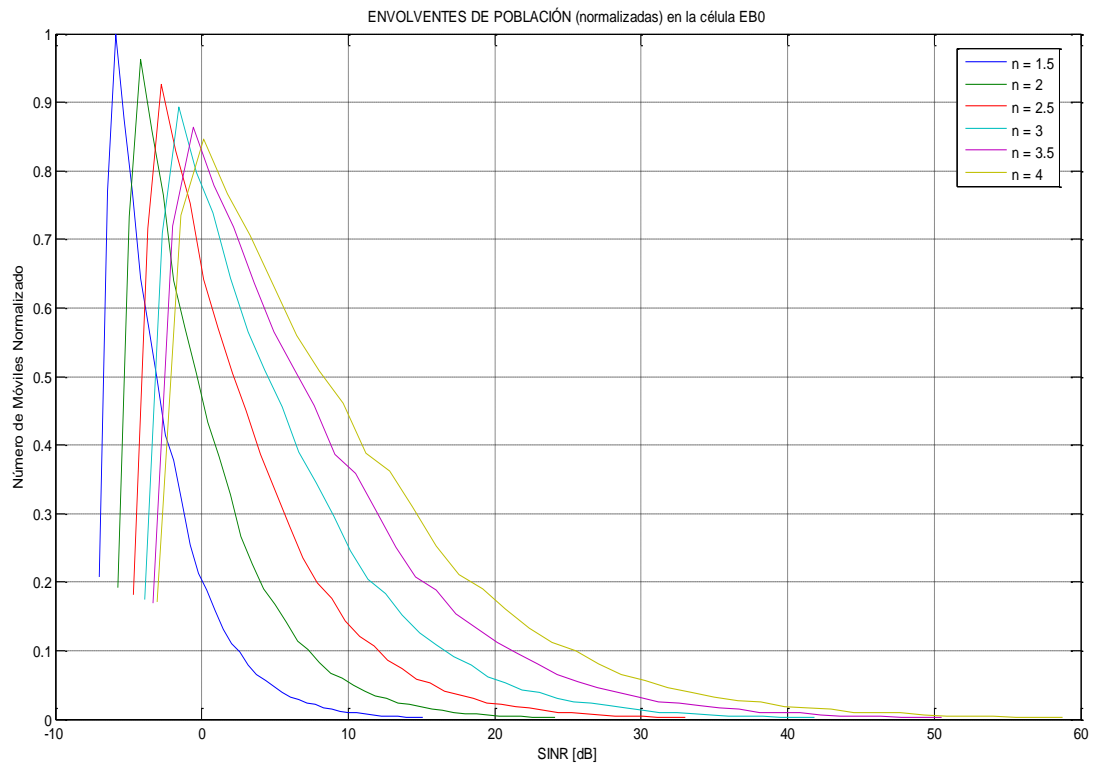


Figura de Evaluación 92: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Monobanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	1.76	2.57	3.50	4.51	5.51	6.33
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	2.37	3.76	5.54	7.60	9.81	11.83
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	3.70	6.45	10.02	14.12	18.41	22.35
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	6.15	11.14	17.19	23.66	30.17	36.12
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.03	0.12	0.25	0.38	0.49	0.57
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.01	0.02	0.04
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-6.26	-4.66	-3.32	-2.23	-1.39	-0.83
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-4.11	-1.65	0.62	2.72	4.62	6.19
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.15	0.35	0.55	0.70	0.79	0.84
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.01	0.04	0.10	0.18	0.27	0.35

Tabla de Evaluación 61:
Reutilización Celular Monobanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

b) Reutilización Celular Tribanda

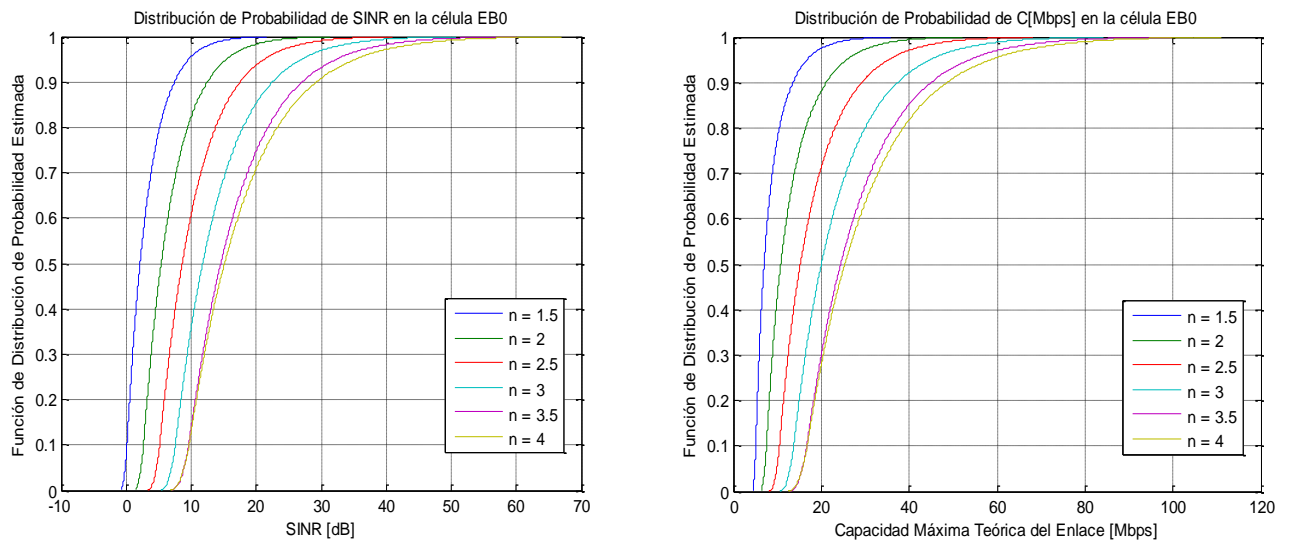


Figura de Evaluación 93: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Celular Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

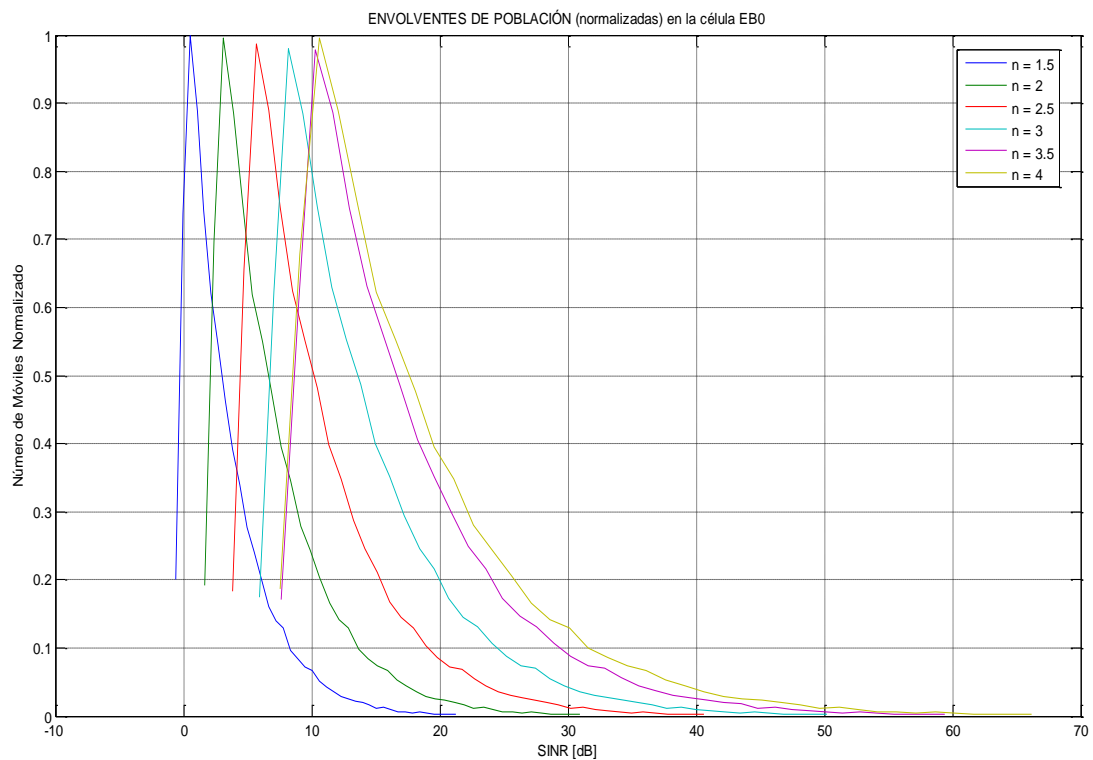
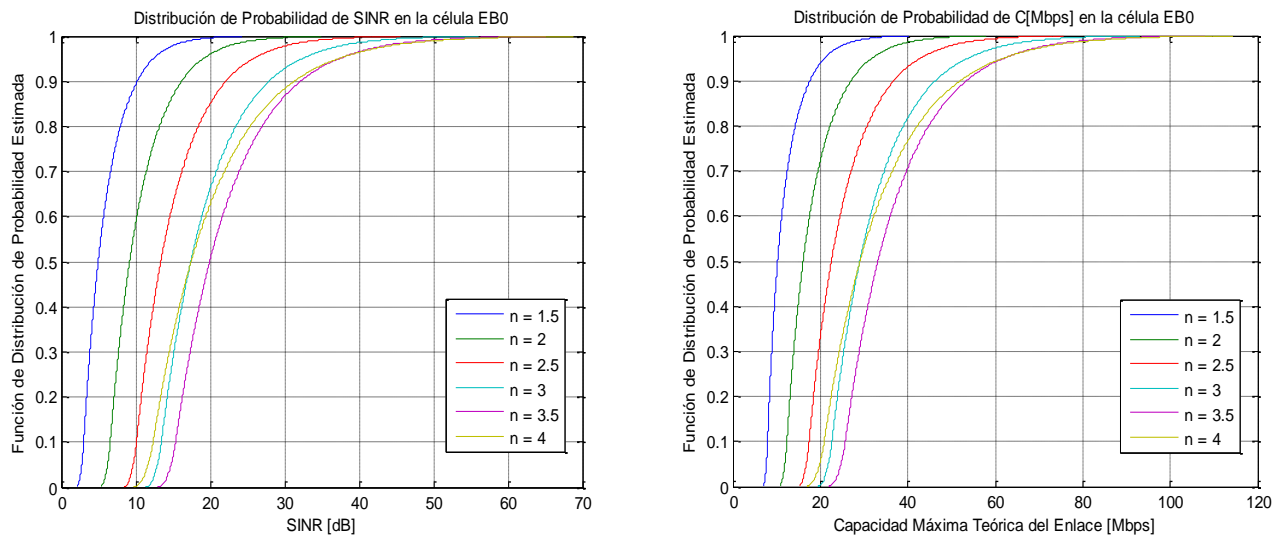


Figura de Evaluación 94: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	5.66	8.52	11.93	15.68	19.12	19.47
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	7.00	10.80	15.26	20.04	24.44	25.38
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	9.60	15.06	21.19	27.56	33.42	35.48
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	13.57	21.18	29.31	37.54	45.16	48.79
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.23	0.57	0.94	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.01	0.03	0.07	0.09
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.13	2.67	5.16	7.57	9.62	9.69
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.14	5.40	8.63	11.79	14.57	15.15
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.04	0.18	0.39	0.64	0.86	0.87

Tabla de Evaluación 62:Reutilización Celular Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

c) Reutilización Celular Heptabanda

**Figura de Evaluación 95:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Celular Heptabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

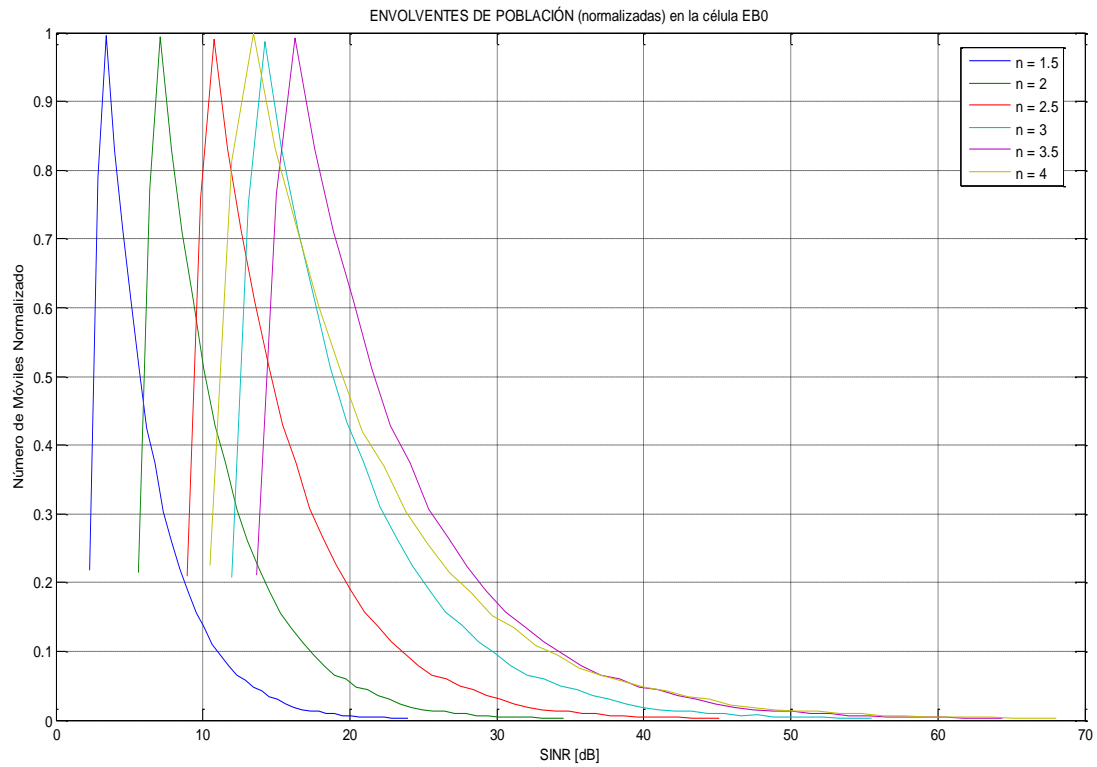


Figura de Evaluación 96: Comparativa de Envloventes de Población de SINR (Reutilización Celular Heptabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	8.61	13.46	18.99	24.60	28.00	23.38
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	10.23	16.06	22.53	29.02	33.17	29.09
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	13.25	20.71	28.68	36.56	41.98	38.99
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	17.59	27.04	36.83	46.43	53.49	52.07
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.53	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.02	0.07	0.13	0.12
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0.00	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.01	6.57	10.09	13.44	15.35	12.33
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.95	9.17	13.37	17.39	19.93	17.44
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.11	0.41	0.91	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 63:
Reutilización Celular Heptabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

d) Reutilización Sectorial Tribanda

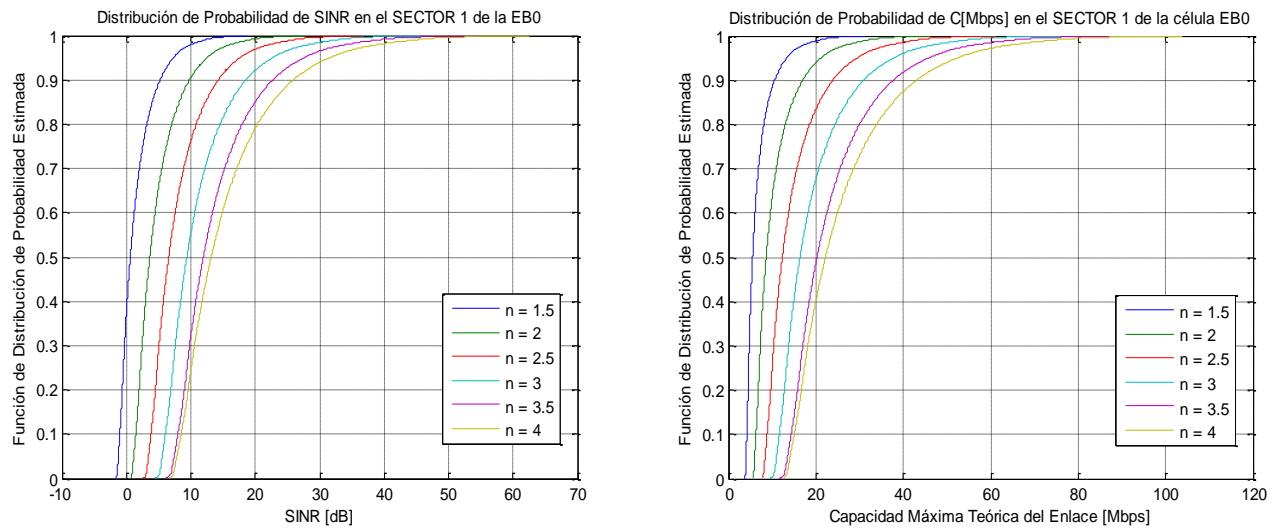


Figura de Evaluación 97: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Sectorial Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

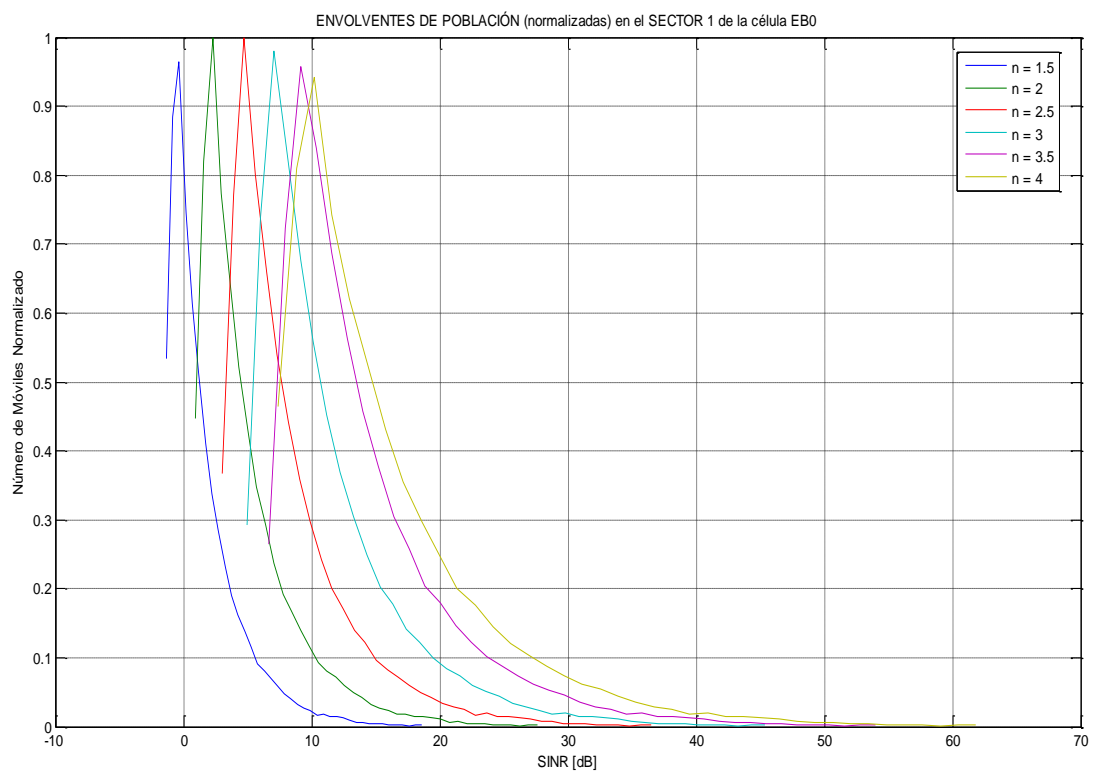
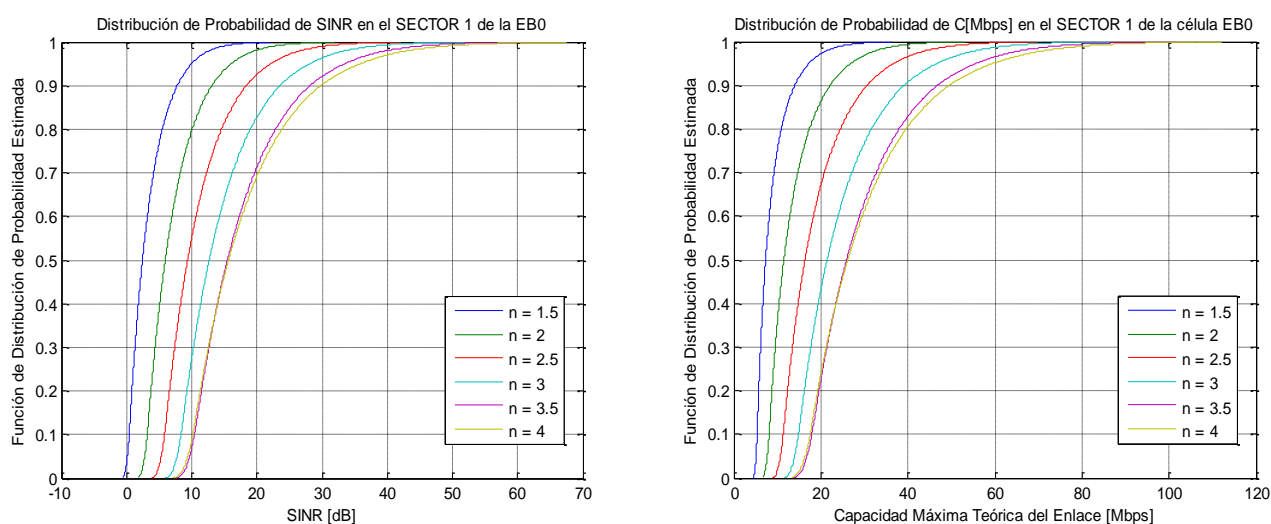


Figura de Evaluación 98: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Sectorial Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	4.62	7.05	10.00	13.27	16.40	17.39
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	5.52	8.63	12.34	16.38	20.28	22.23
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	7.42	11.87	16.98	22.35	27.55	31.01
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	10.59	16.98	23.94	31.01	37.86	43.16
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.12	0.37	0.75	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.02	0.03	0.06
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.02	1.45	3.82	6.06	8.00	8.50
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	0.61	3.63	6.57	9.39	11.94	13.18
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.02	0.09	0.24	0.45	0.68	0.76

Tabla de Evaluación 64:Reutilización Sectorial Tribanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

e) Reutilización Sectorial Tetrabanda

**Figura de Evaluación 99:** Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Sectorial Tetrabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

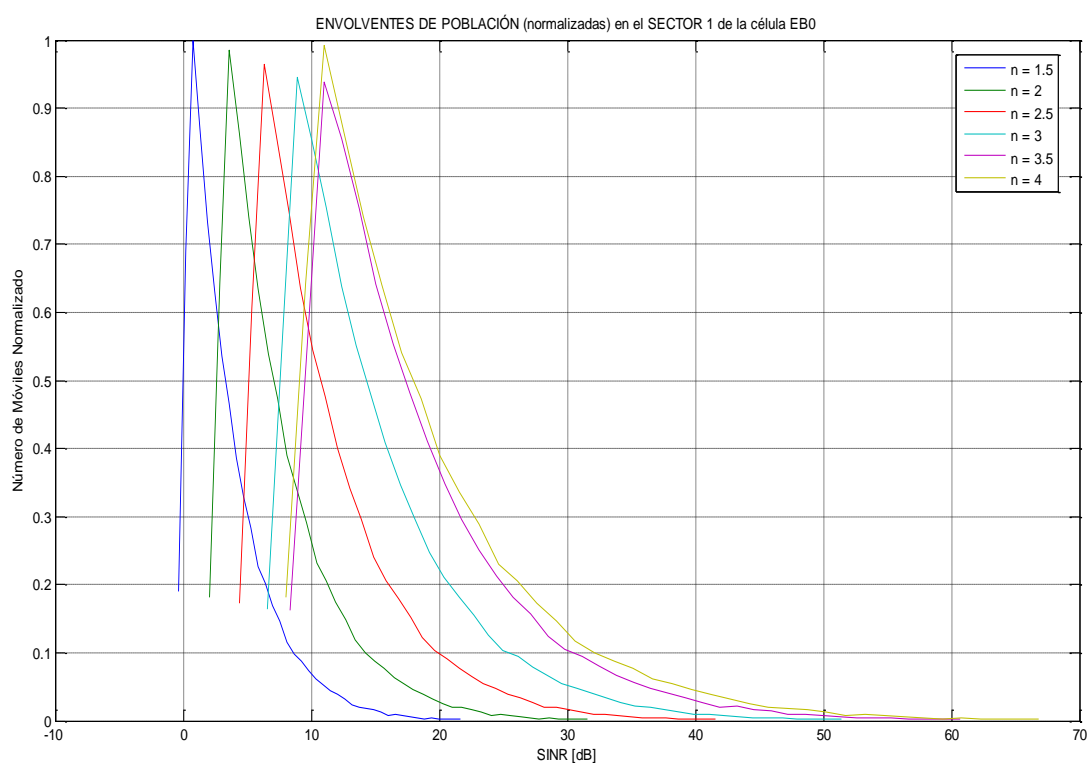


Figura de Evaluación 100: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Sectorial Tetrabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	5.93	9.13	12.90	16.94	20.47	20.25
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	7.31	11.51	16.36	21.46	25.93	26.21
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	10.00	15.92	22.47	29.17	35.09	36.39
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	14.02	22.10	30.65	39.20	46.87	49.63
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.25	0.64	0.98	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.01	0.04	0.08	0.10
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0.00	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.41	3.17	5.83	8.36	10.42	10.17
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.44	5.95	9.38	12.69	15.49	15.66
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.20	0.45	0.73	0.93	0.91

Tabla de Evaluación 65:
Reutilización Sectorial Tetrabanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

f) Reutilización FFR Bibanda

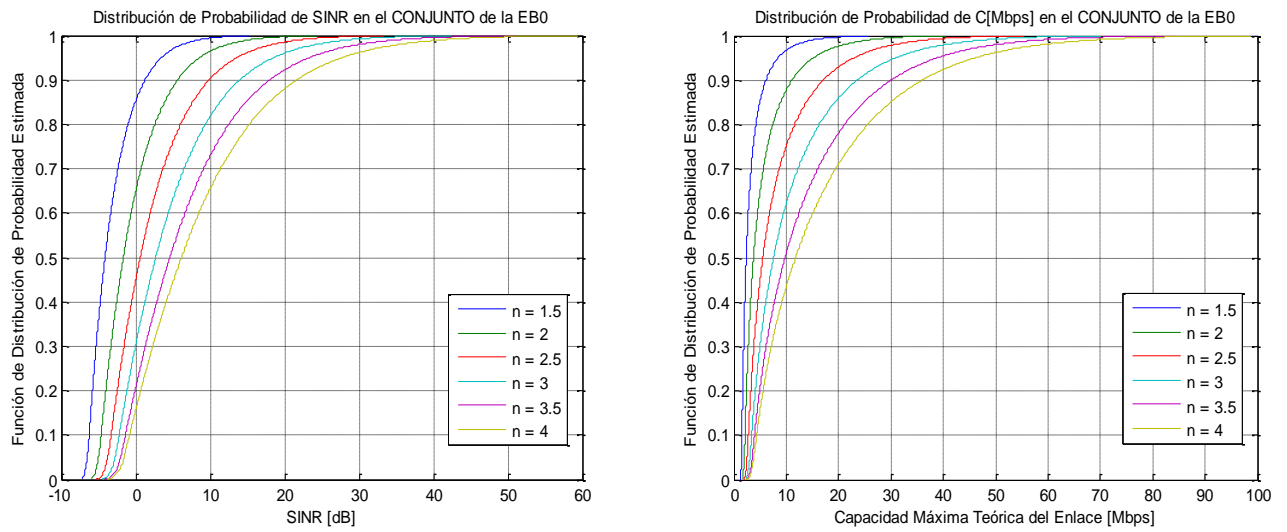


Figura de Evaluación 101: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r = 3$ Km).

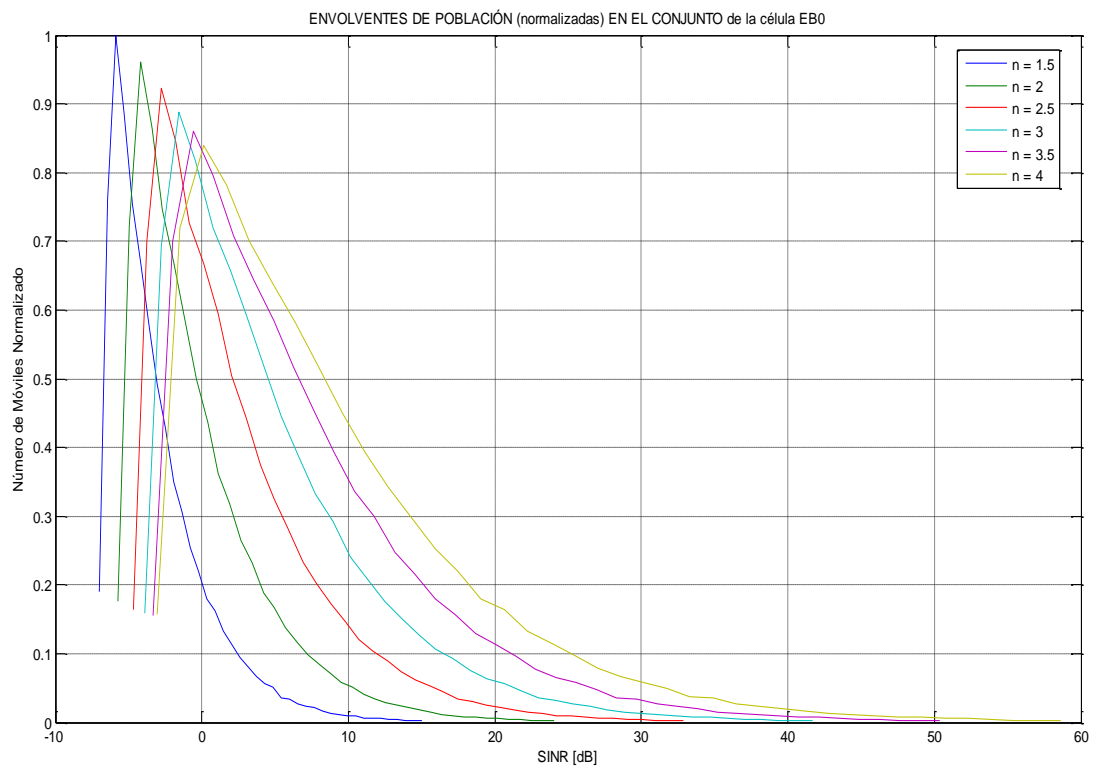
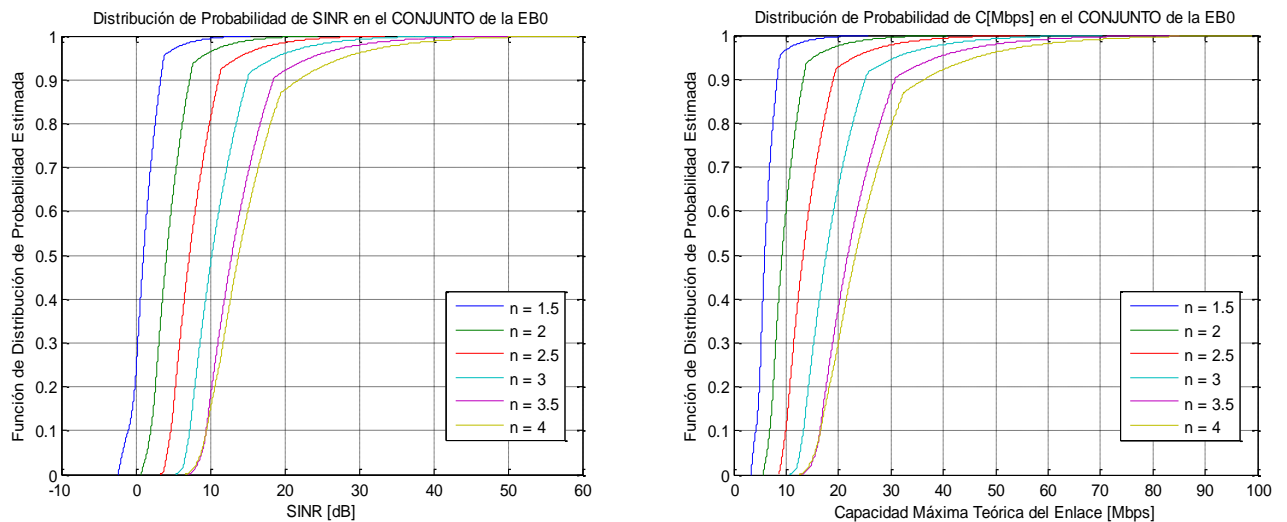


Figura de Evaluación 102: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r = 3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	1.77	2.57	3.51	4.51	5.51	6.33
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	2.36	3.75	5.52	7.58	9.78	11.77
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	3.69	6.42	9.98	14.06	18.34	22.27
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	6.13	11.12	17.15	23.62	30.12	36.06
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.03	0.12	0.25	0.38	0.49	0.57
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.01	0.02	0.04
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-6.25	-4.64	-3.31	-2.22	-1.37	-0.82
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-4.12	-1.66	0.61	2.70	4.60	6.14
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.15	0.35	0.55	0.70	0.79	0.84
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.01	0.04	0.10	0.18	0.27	0.34

Tabla de Evaluación 66:Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$.

g) Reutilización FFR 3+1

**Figura de Evaluación 103:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3 \text{ Km}$).

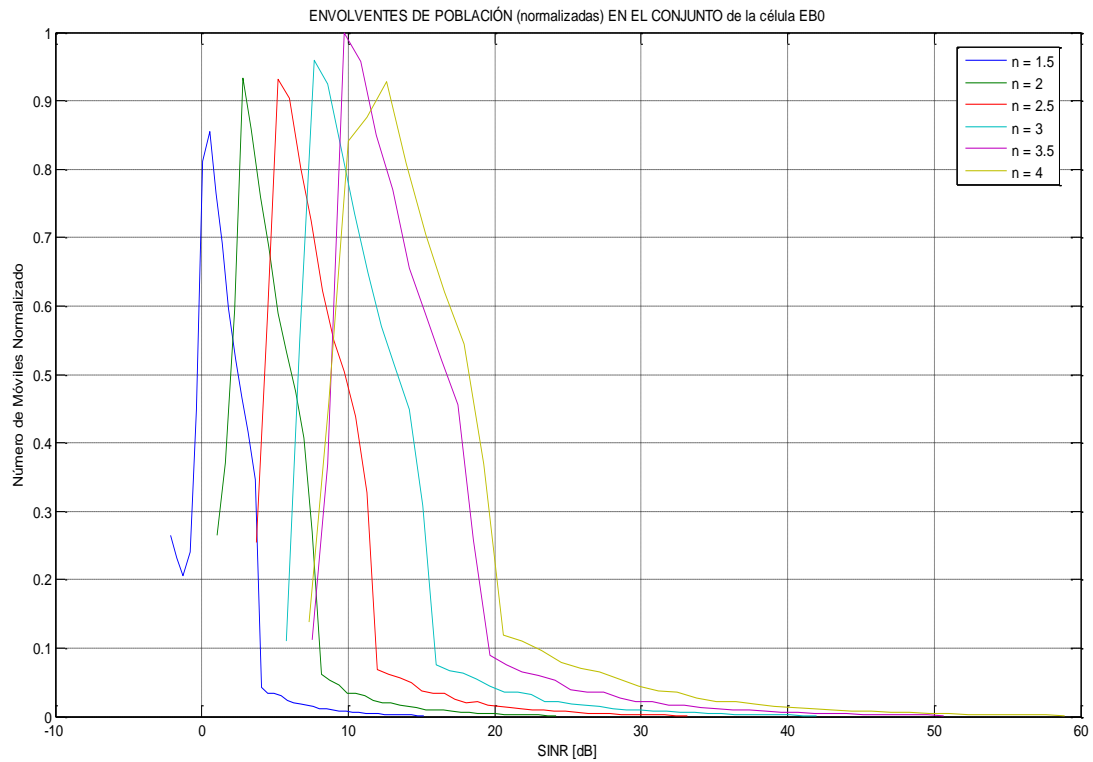


Figura de Evaluación 104: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	5.08	7.77	11.08	14.76	18.25	19.20
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	5.92	9.23	13.25	17.64	21.80	23.26
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	7.16	11.38	16.38	21.71	26.71	28.85
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	8.31	13.30	19.05	25.14	30.83	36.57
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.03	0.40	0.89	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.01	0.02	0.04
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.00	2.02	4.71	7.26	9.46	9.51
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	1.04	4.14	7.23	10.23	12.91	13.83
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.78	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.01	0.04	0.19	0.53	0.83	0.86

Tabla de Evaluación 67:
Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

h) Reutilización FFR 7+1

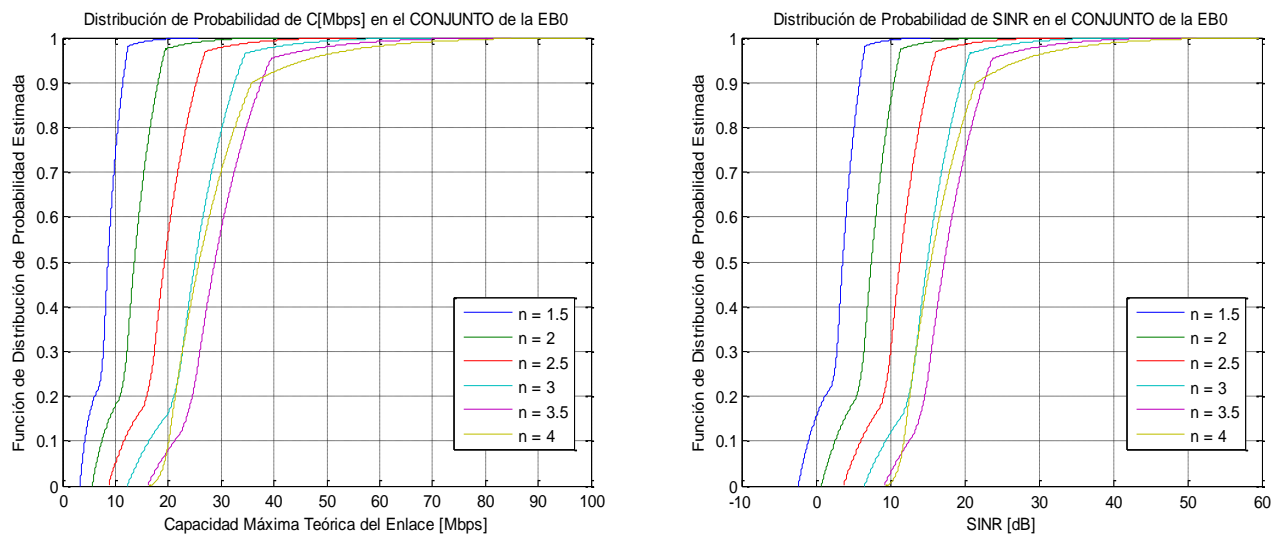


Figura de Evaluación 105: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

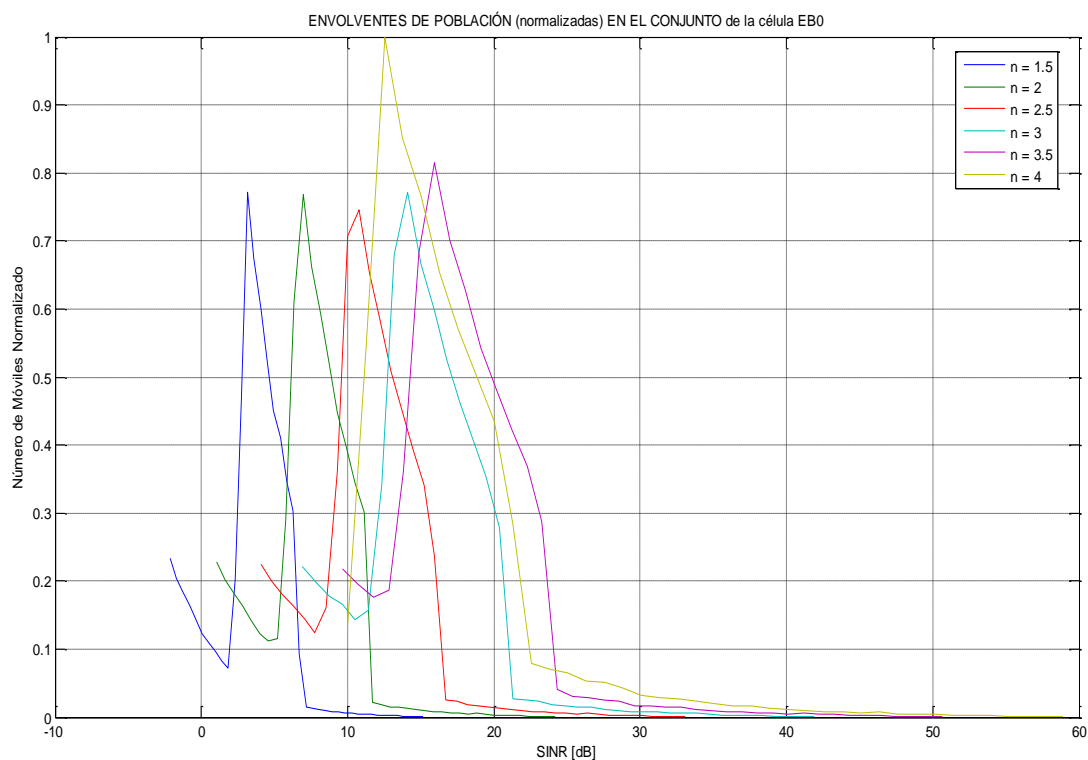
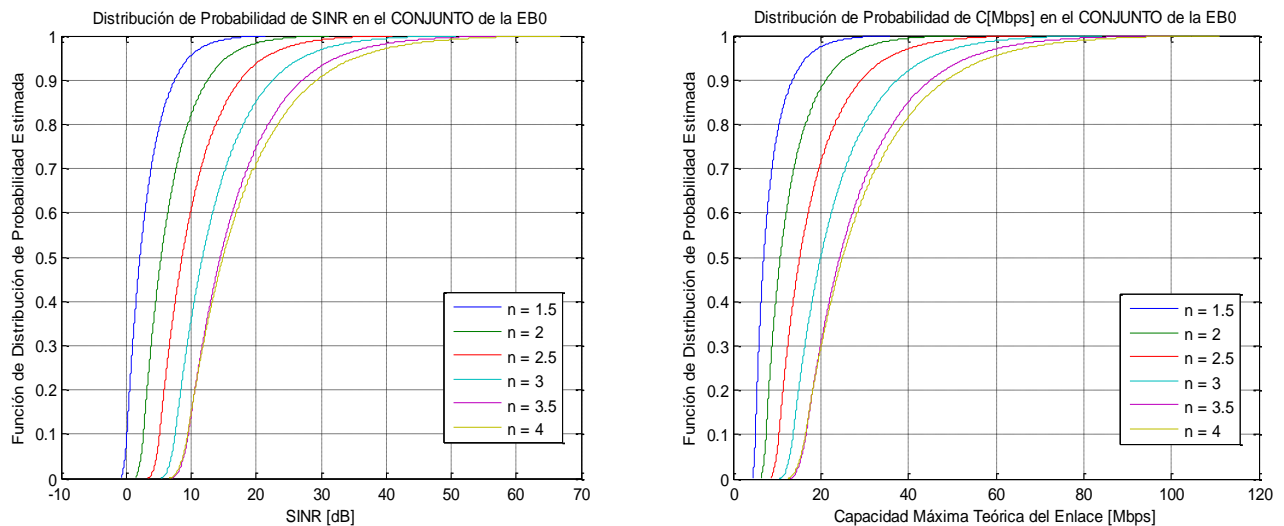


Figura de Evaluación 106: Comparativa de Envoltentes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	7.34	11.72	16.82	22.07	25.38	22.00
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	8.59	13.60	19.31	25.13	28.85	25.87
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	10.08	15.97	22.57	29.18	33.61	31.23
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	11.42	18.07	25.34	32.61	37.62	36.04
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.26	0.82	0.95	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.00	0.01	0.02	0.04
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-1.00	2.59	6.04	9.37	12.55	11.83
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	3.60	7.47	11.32	14.99	17.29	15.46
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.01	0.15	0.71	0.88	0.97	0.99

Tabla de Evaluación 68:Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

i) Reutilización FFR 3+3

**Figura de Evaluación 107:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

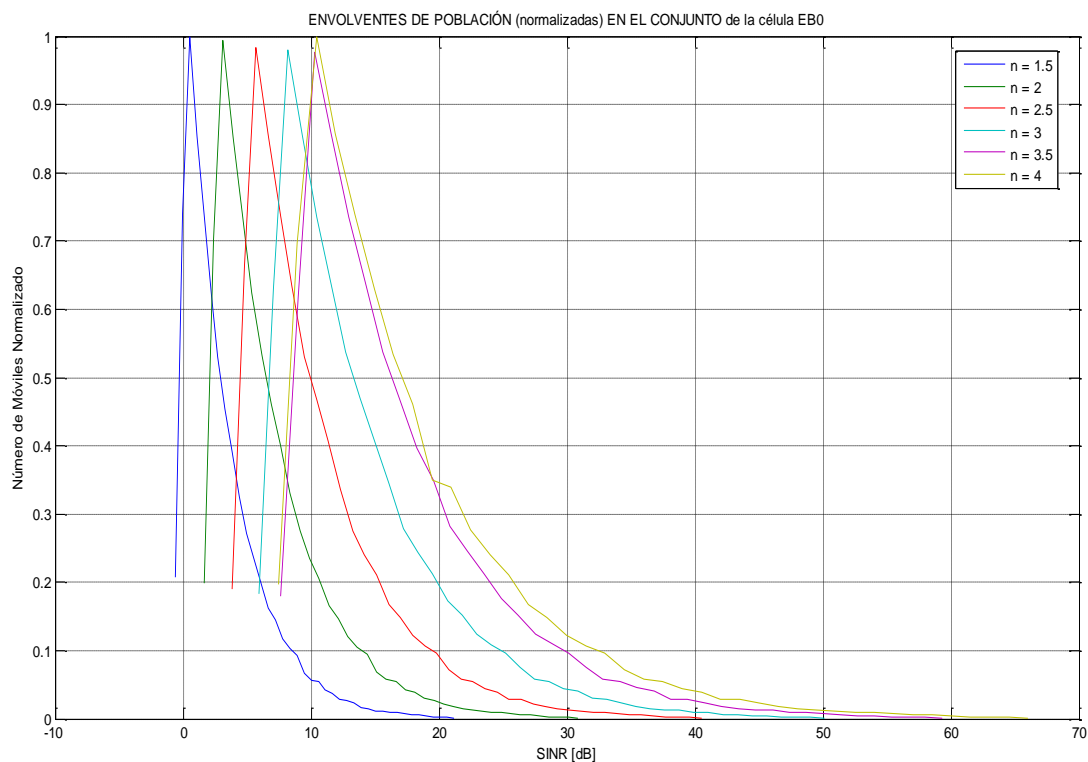


Figura de Evaluación 108: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	5.65	8.50	11.91	15.64	19.03	19.14
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	6.99	10.78	15.23	20.01	24.34	25.02
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	9.59	15.05	21.18	27.55	33.40	35.46
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	13.59	21.21	29.35	37.59	45.21	48.85
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.23	0.57	0.94	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.01	0.03	0.07	0.09
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.12	2.66	5.16	7.56	9.58	9.49
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.13	5.39	8.61	11.76	14.50	14.92
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.18	0.39	0.64	0.86	0.85

Tabla de Evaluación 69:
Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

j) Reutilización FFR 7+3

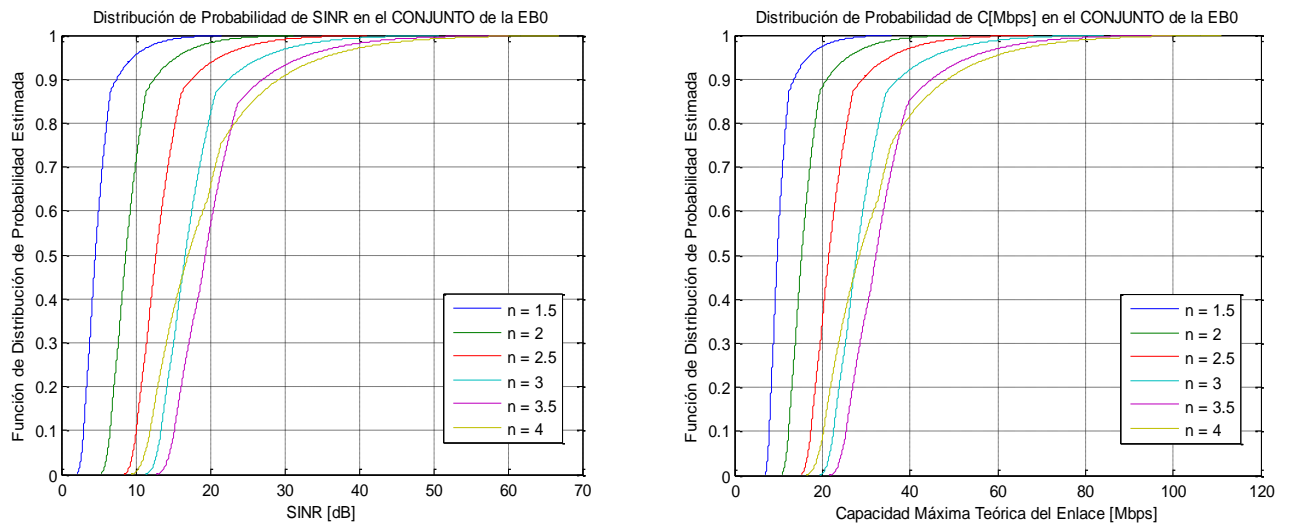


Figura de Evaluación 109: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

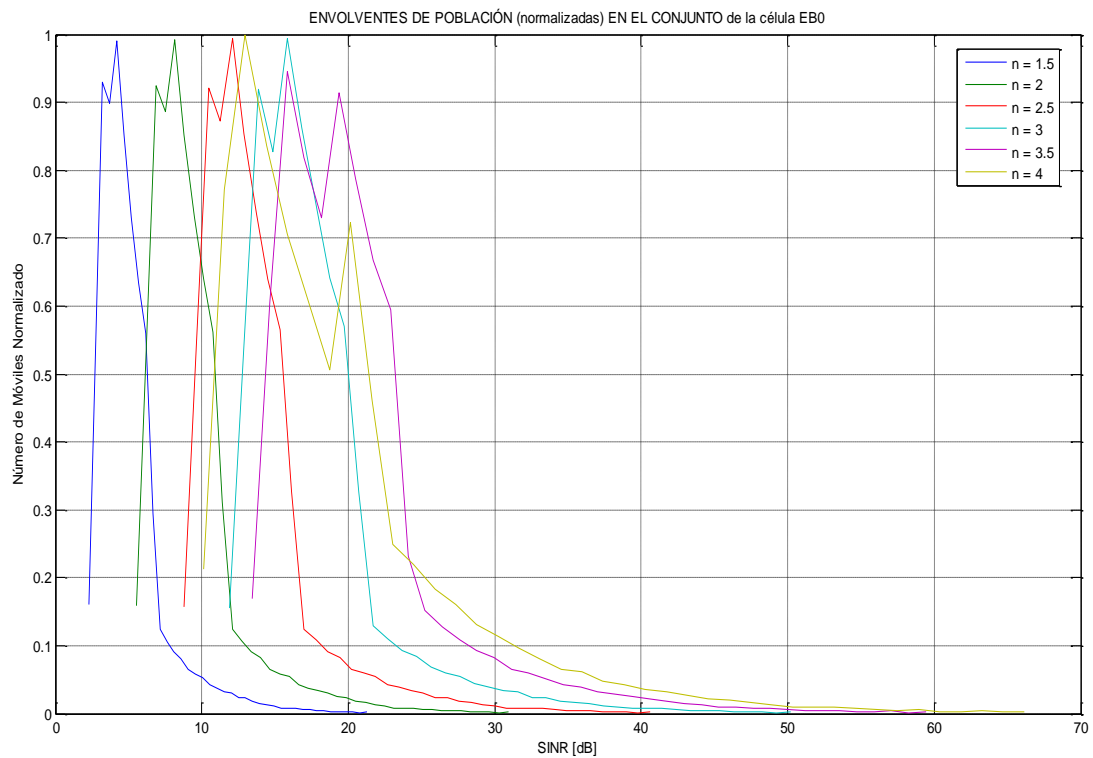


Figura de Evaluación 110: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	8.60	13.46	18.98	24.57	27.76	22.79
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	9.76	15.31	21.53	27.82	32.26	28.50
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	11.33	17.78	24.83	31.89	37.06	35.64
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	13.56	21.17	29.29	37.52	45.13	48.75
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.00	0.01	0.03	0.07	0.09
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.01	6.56	10.08	13.41	15.20	11.95
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.57	8.67	12.73	16.65	19.37	17.07
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.29	0.91	1.00	1.00	0.99

Tabla de Evaluación 70:Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

3.4.2. Segunda Aproximación (Razonada)

Bajo esta Segunda Aproximación se hace una salvedad, para los casos FFR, en el planteamiento general de la Primera Aproximación.

Esta salvedad se basa en un trato diferenciado entre los anillos interior y exterior de la célula, en cuanto al grado de interferencia considerado en sus regiones de cobertura.

La diferenciación aplicada consiste, sencillamente, en el mantenimiento del criterio de la Primera Aproximación en el anillo exterior y en obviar toda contribución interferente en el anillo interior.

El planteamiento anterior se fundamenta en las siguientes ideas enlazadas:

- El esquema FFR permite la independencia de altura entre las antenas de los anillos interior y exterior. Esto proporciona una gran versatilidad para la iluminación del extremo de la región de cobertura de la célula. De este modo, lo propio será que los paneles que compongan la antena del anillo exterior se posicionen por encima de los paneles del anillo interior.
- Posicionando los paneles del anillo interior a la misma altura que se hubieren colocado las antenas de los demás esquemas, al iluminar los primeros una región de radio menor, se les podrá dotar de mayor inclinación. Nótese que, conforme aumenta la orientación del panel hacia el suelo, se reduce error de longitud, en la anchura de la franja iluminada, que trae consigo un determinado error en la inclinación del mismo. En definitiva, una mayor inclinación del panel conlleva mayor robustez frente al error de elevación o, dicho de otro modo, proporciona mejor focalización del haz sobre los puntos más alejados de la región a iluminar.

- El aspecto anterior, unido al hecho de aplicarse a la iluminación de la región interior de la célula, hace relativamente improbable la interferencia de dos células adyacentes en el canal de trabajo de los anillos interiores. Téngase en cuenta que, en el escenario más pesimista que pueda plantearse, para el anillo interior resulta ser: $d2_{min} = d3_{min} = 1.232 r$. Así, por ejemplo, si la célula tiene un radio de cobertura de 3 Km, los puntos del anillo interior de la EBO susceptibles de mayor interferencia estarían casi 3.7 Km de la Estación Base Interferente más cercana, cuando ésta última tendría que iluminar, como máximo, a puntos distantes $d = 0.5 r = 1.5$ Km de la misma. Es decir, para que empezara a registrarse interferencia tendría que excederse en 2.2 Km el radio de iluminación del anillo interior (o la anchura de la franja iluminada), lo que supone un error cercano al 150%.

Nótese que la apreciación relativa a la robustez en el error de elevación, o a la mayor precisión en la focalización del haz sobre los puntos más alejados de la región a iluminar, puede extenderse a los paneles del anillo exterior, al posibilitarse el colocarlos considerablemente por encima de los del anillo interior, consiguiendo dotarles de algo más de inclinación que a las antenas de los restantes esquemas.

En todo caso, ante la dificultad de cuantificar este potencial beneficio y el interés por mantener el rigor y la coherencia en los planteamientos aplicados, en las simulaciones de la comparativa de escenarios llevadas a cabo bajo esta Aproximación se ha obviado la consideración anterior, manteniendo el criterio de la Primera Aproximación en los puntos del anillo exterior.

3.4.2.1. Asignación de Ancho de Banda Fijo al Radiocanal

3.4.2.1.1. Población Uniformemente Distribuida

a) Reutilización FFR Bibanda

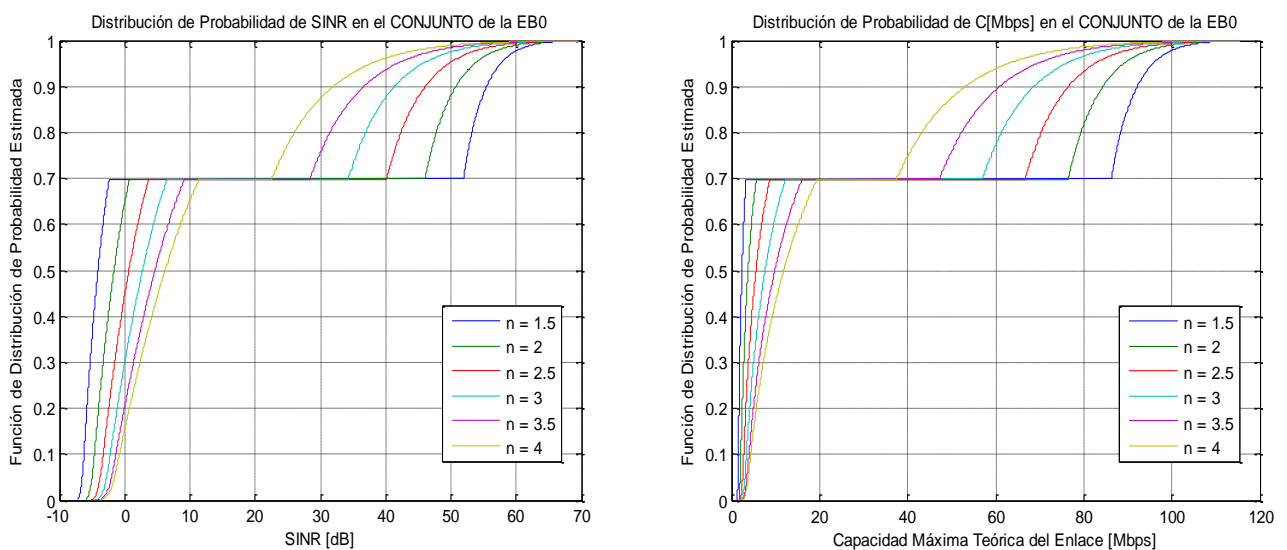


Figura de Evaluación 111: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

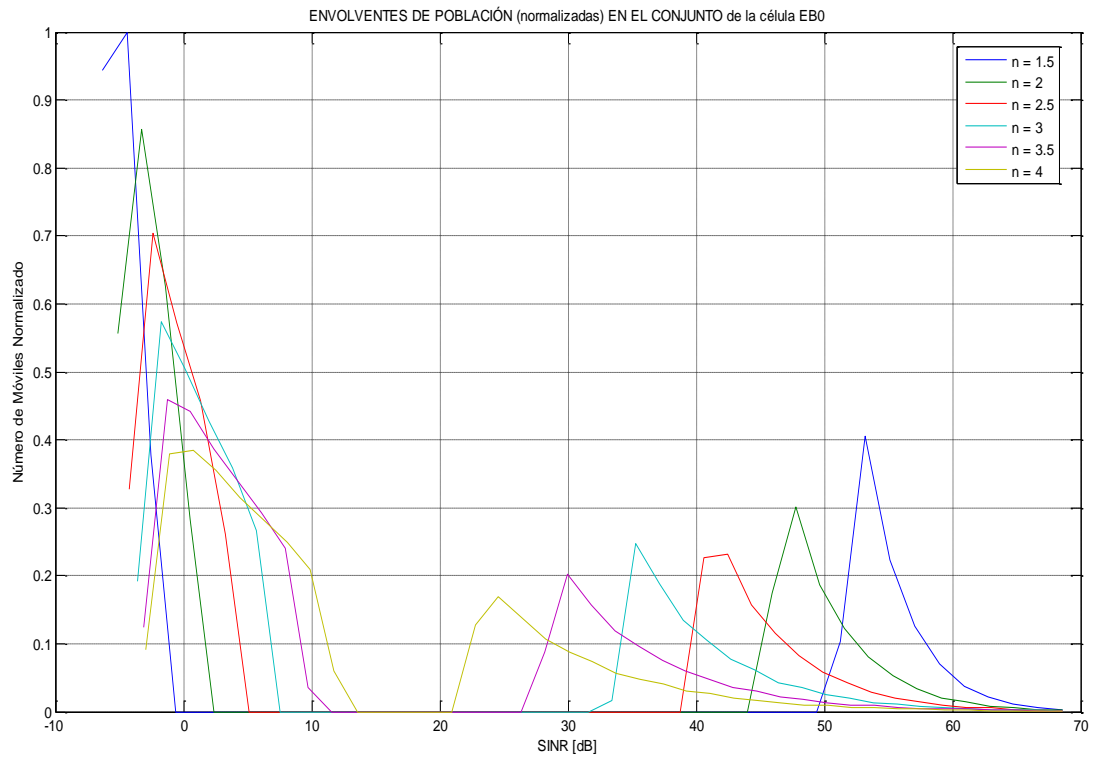


Figura de Evaluación 112: Comparativa de Envolventes de Población de SINR (Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	1.77	2.58	3.53	4.55	5.56	6.39
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	2.37	3.77	5.56	7.64	9.86	11.87
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	87.23	77.81	68.39	58.97	49.55	40.15
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	92.11	84.31	76.52	68.72	60.93	53.14
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.38	0.49	0.57
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.24	0.13
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-6.24	-4.63	-3.29	-2.20	-1.35	-0.80
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-4.09	-1.63	0.65	2.75	4.66	6.22
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.30	0.35	0.55	0.70	0.80	0.85
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.35

Tabla de Evaluación 71:
Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

b) Reutilización FFR 3+1

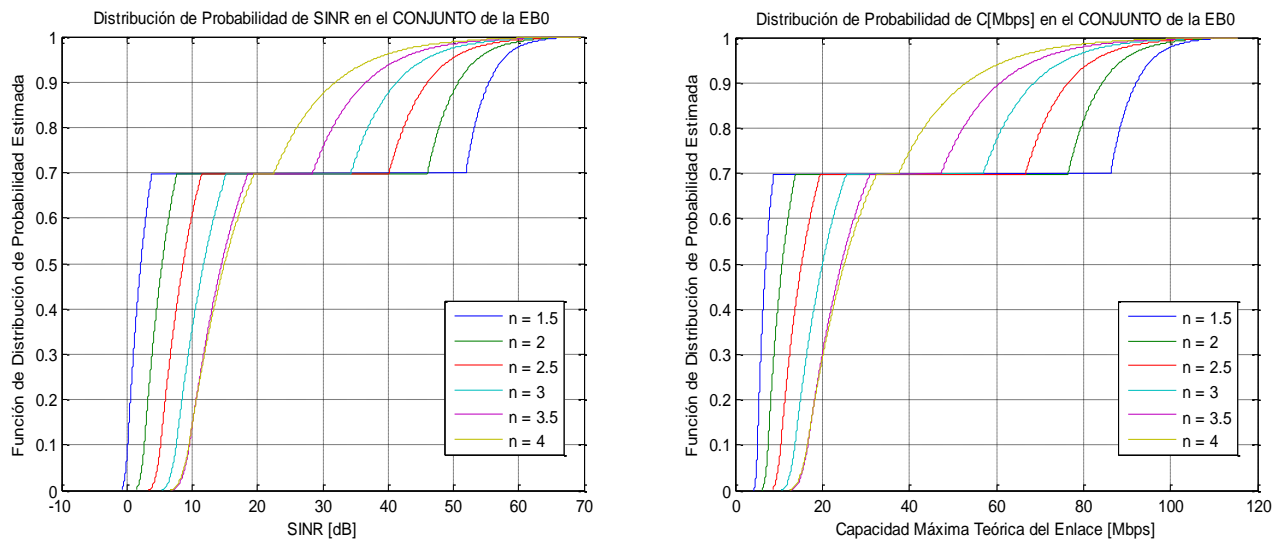


Figura de Evaluación 113: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

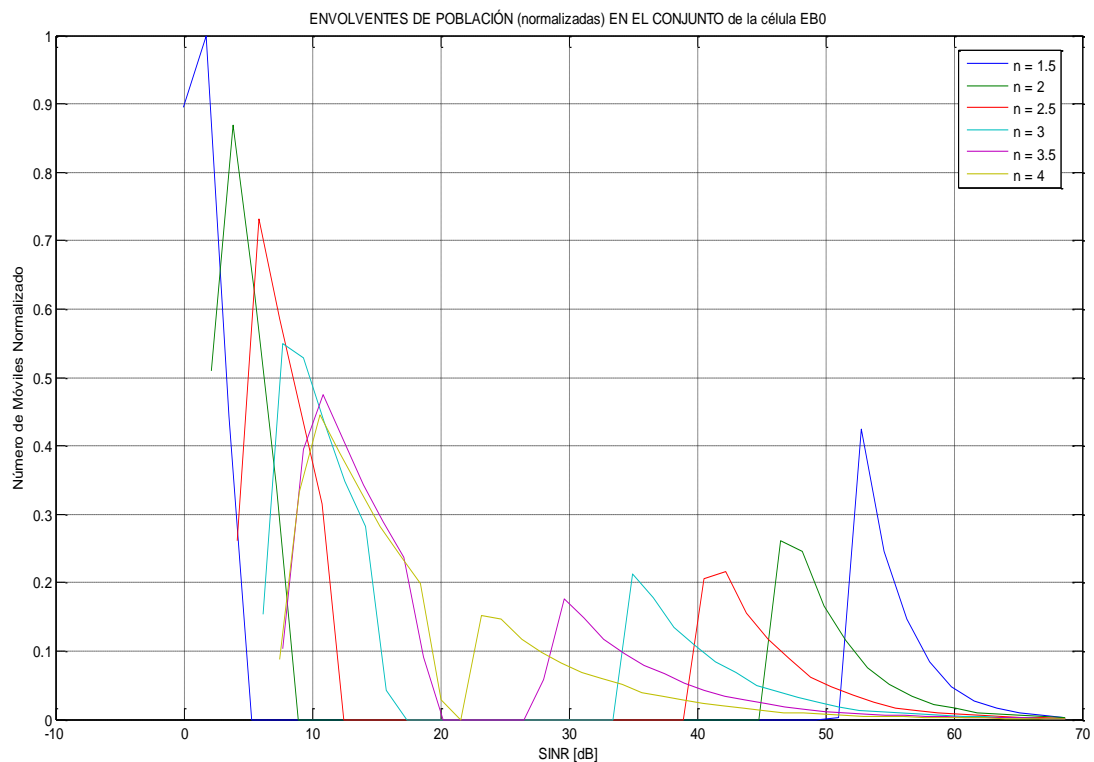
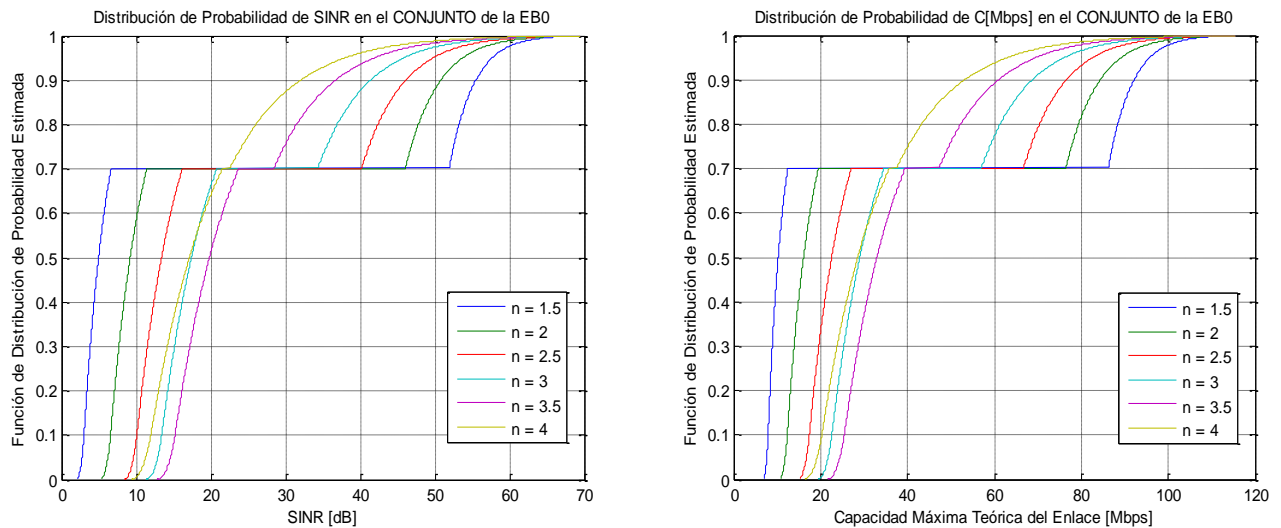


Figura de Evaluación 114: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	5.67	8.53	11.95	15.70	19.11	19.24
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	7.00	10.80	15.26	20.05	24.40	25.11
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	87.24	77.83	68.41	58.99	49.58	40.18
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	92.16	84.38	76.60	68.82	61.04	53.26
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.30	0.58	0.94	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.24	0.13
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.13	2.67	5.17	7.57	9.60	9.53
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.15	5.40	8.63	11.79	14.54	14.98
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.30	0.39	0.64	0.86	0.86

Tabla de Evaluación 72:Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

c) Reutilización FFR 7+1

**Figura de Evaluación 115:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

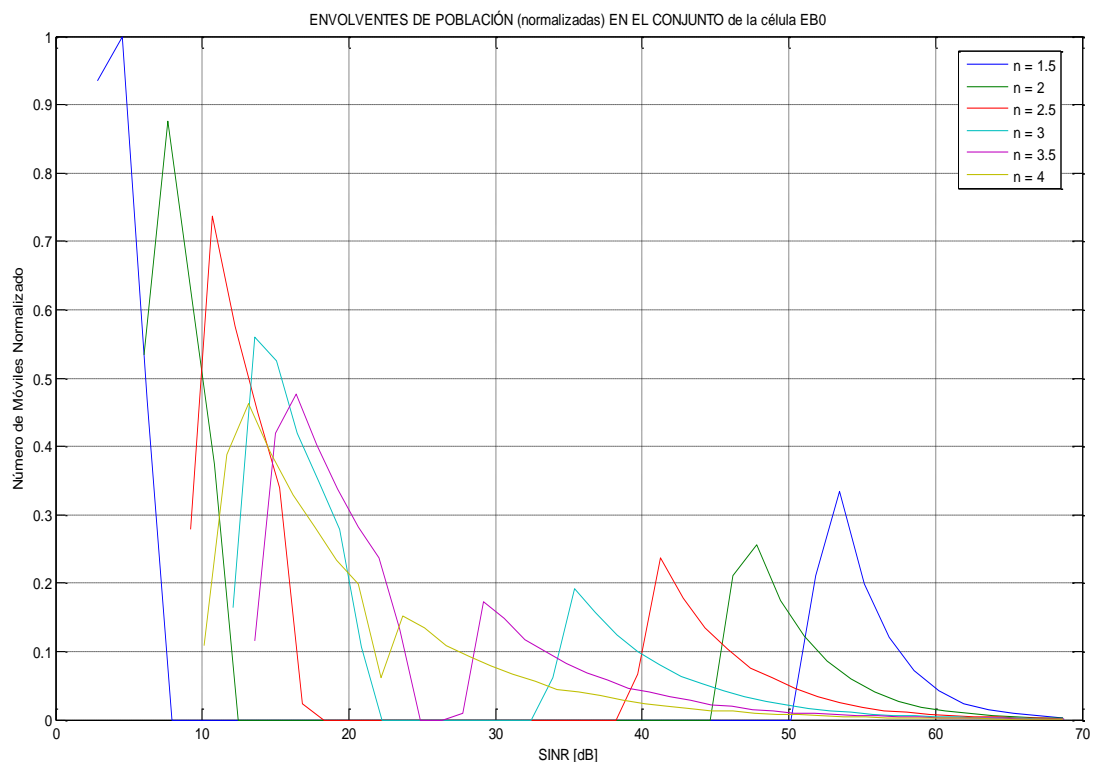


Figura de Evaluación 116: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	8.61	13.47	19.00	24.59	27.79	22.83
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	10.24	16.08	22.56	29.03	32.98	28.56
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	87.21	77.78	68.36	58.93	49.51	40.10
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	92.15	84.37	76.59	68.81	61.03	53.25
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.53	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.24	0.13
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.01	6.56	10.08	13.41	15.19	11.96
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.96	9.19	13.39	17.40	19.81	17.11
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.42	0.91	1.00	1.00	0.99

Tabla de Evaluación 73:
Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

d) Reutilización FFR 3+3

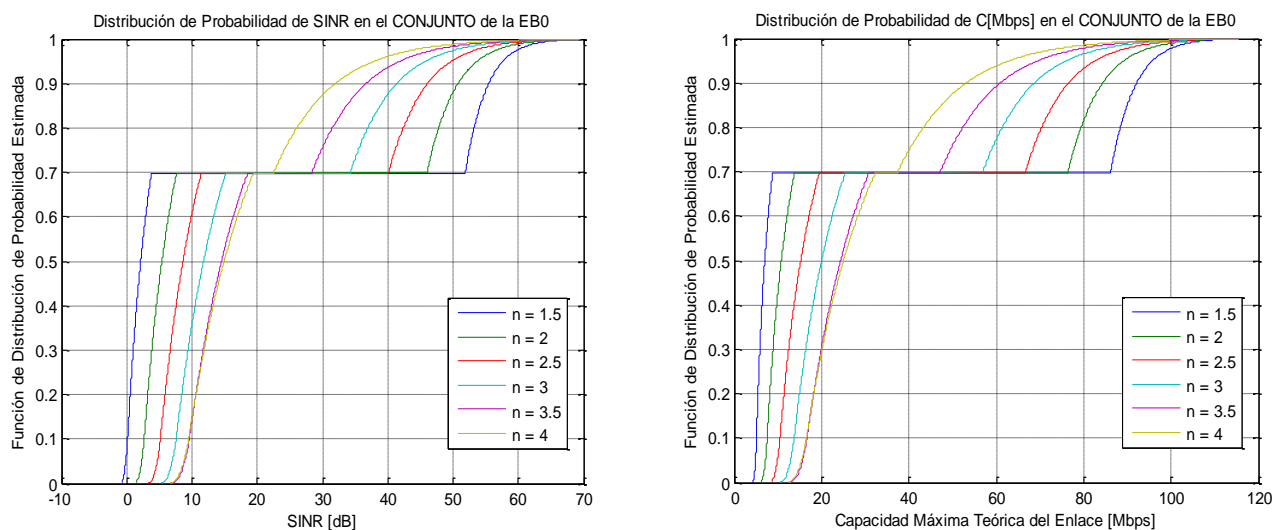


Figura de Evaluación 117: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

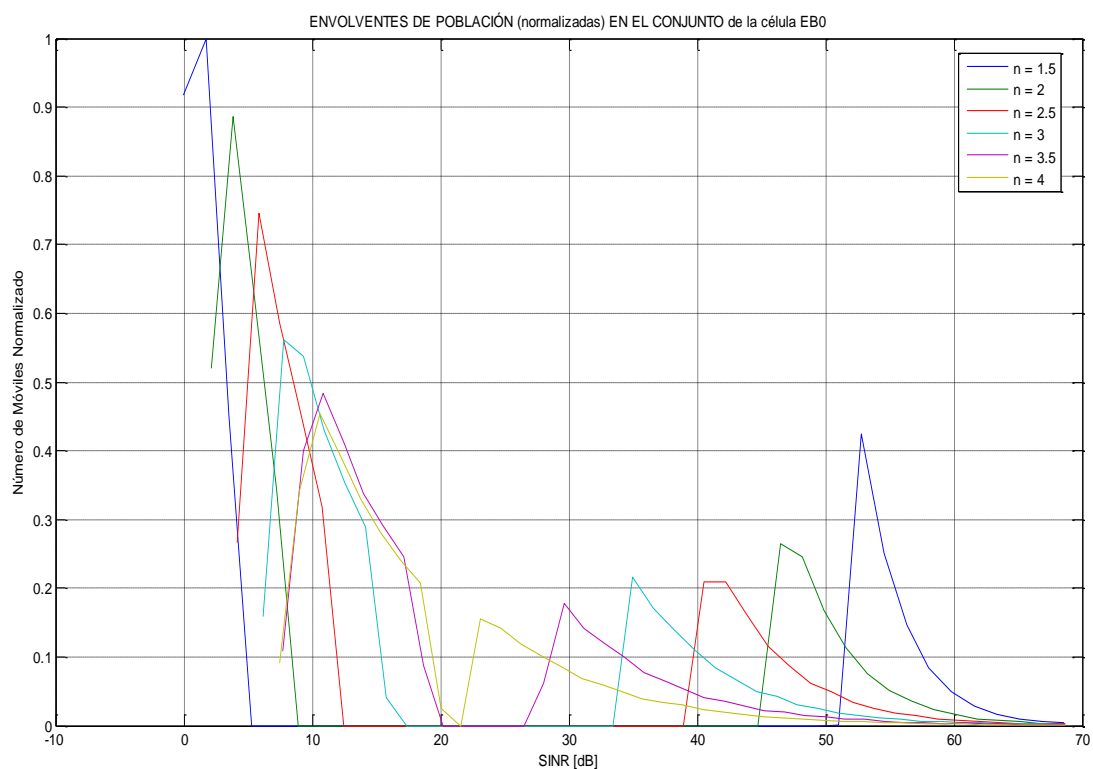
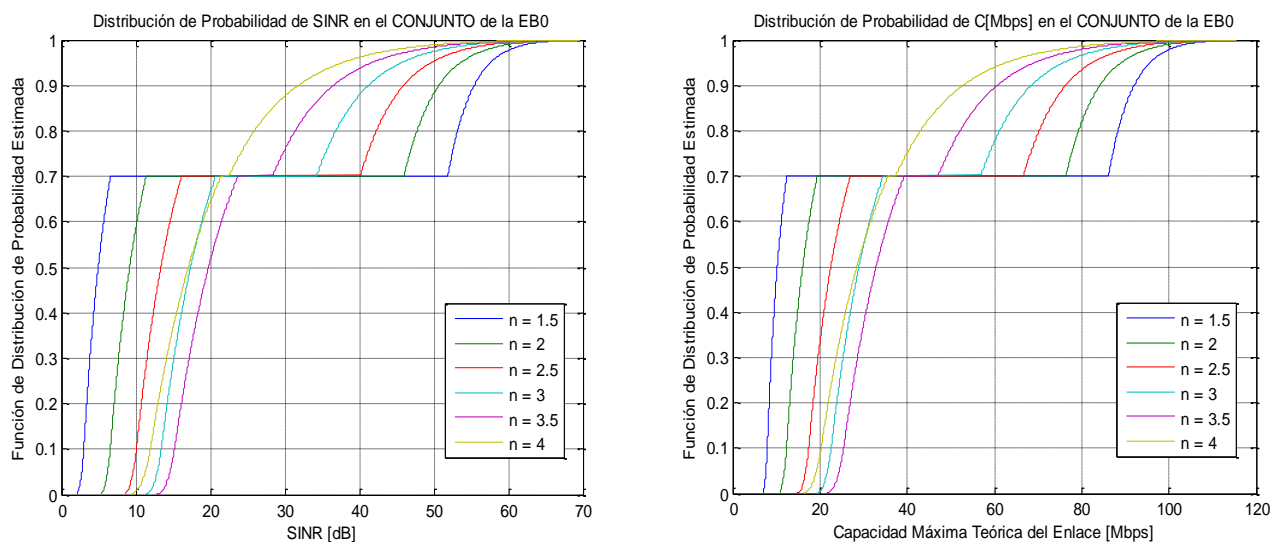


Figura de Evaluación 118: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	5.66	8.51	11.93	15.66	19.06	19.17
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	7.00	10.80	15.27	20.05	24.39	25.08
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	87.20	77.77	68.34	58.91	49.49	40.08
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	92.15	84.37	76.58	68.80	61.02	53.24
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.30	0.57	0.94	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.24	0.13
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.13	2.67	5.16	7.57	9.59	9.51
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.15	5.41	8.63	11.79	14.54	14.96
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.30	0.39	0.64	0.86	0.85

Tabla de Evaluación 74:Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

e) Reutilización FFR 7+3

**Figura de Evaluación 119:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

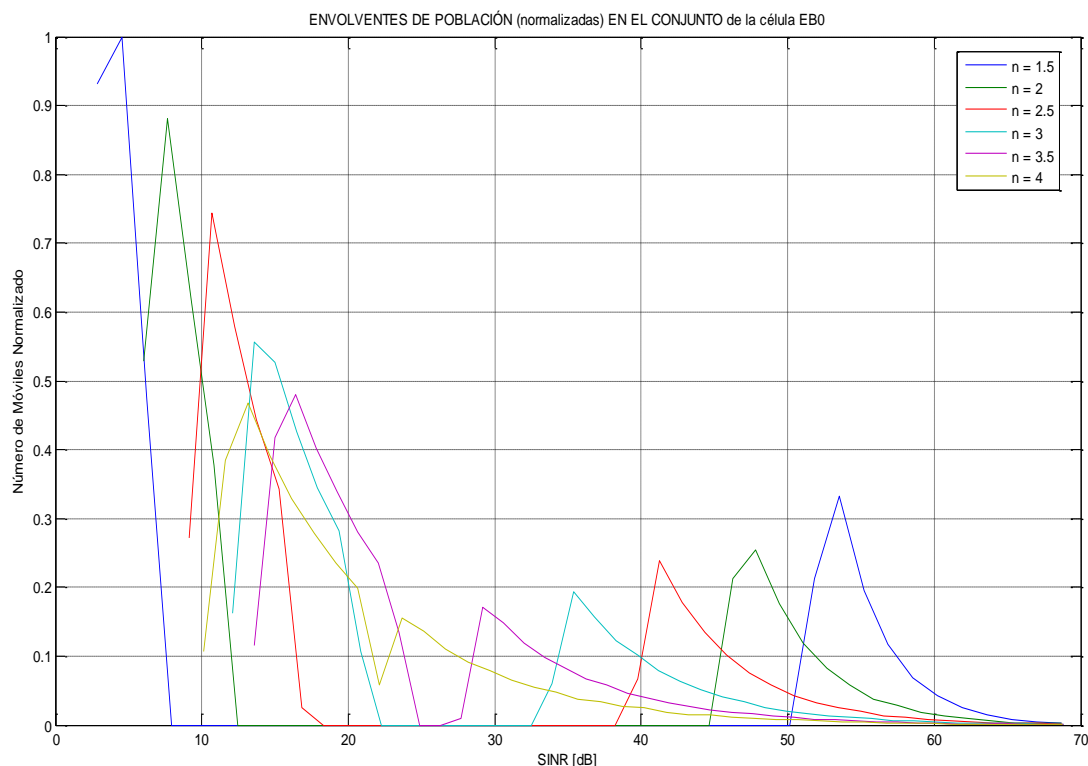


Figura de Evaluación 120: Comparativa de Envoltentes de Población de SINR (Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	8.60	13.46	18.98	24.57	27.75	22.79
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	10.22	16.05	22.51	28.97	32.90	28.47
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	87.15	77.70	68.26	58.81	49.37	39.94
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	92.04	84.22	76.40	68.58	60.76	52.95
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.53	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.24	0.12
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.01	6.56	10.08	13.41	15.19	11.95
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.95	9.17	13.36	17.36	19.76	17.06
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.41	0.91	1.00	1.00	0.99

Tabla de Evaluación 75:
Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

3.4.2.1.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia

a) Reutilización Celular Monobanda

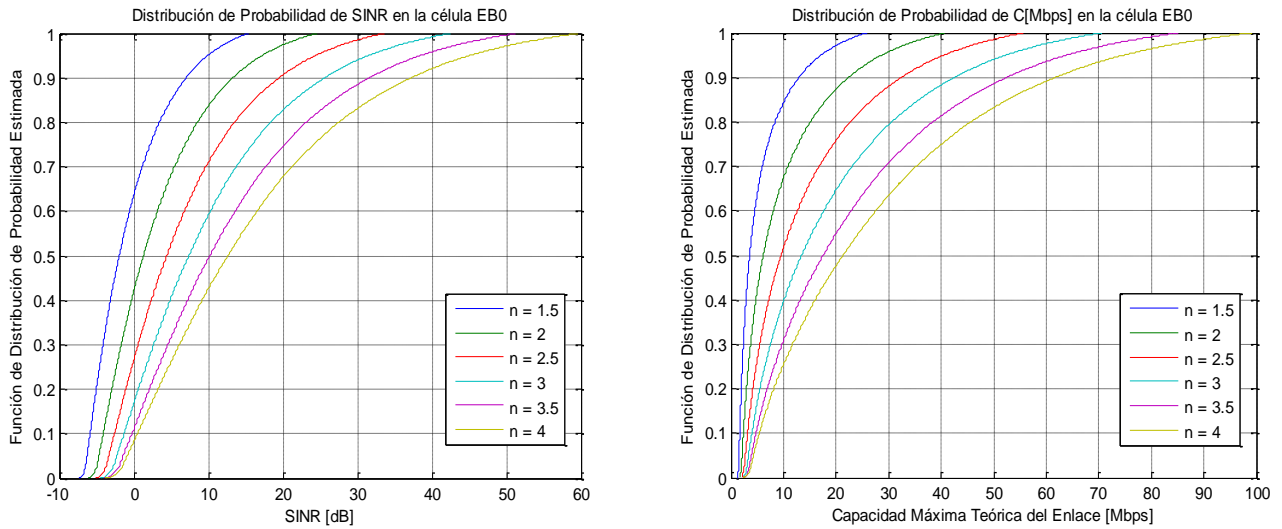


Figura de Evaluación 121: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Celular Monobanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

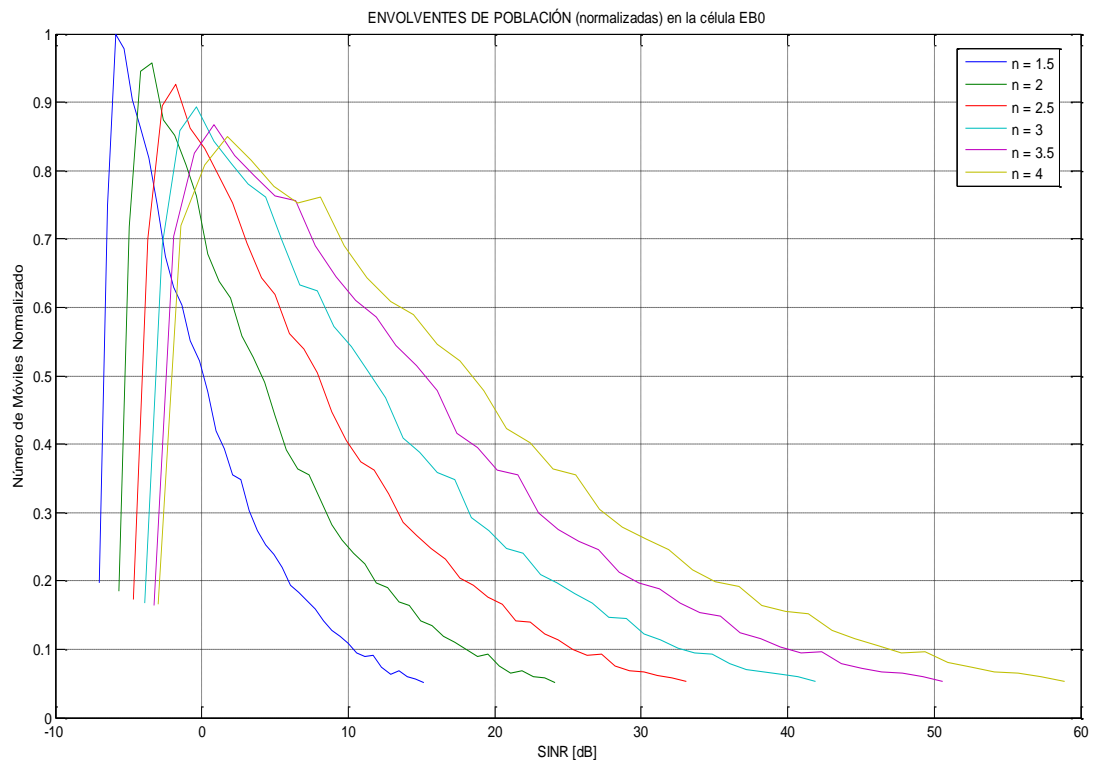


Figura de Evaluación 122: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Monobanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	2.15	3.32	4.79	6.47	8.25	9.84
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	3.56	6.16	9.55	13.46	17.57	21.34
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	7.04	12.76	19.51	26.61	33.70	40.19
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	12.96	22.46	32.52	42.62	52.55	61.81
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.16	0.33	0.48	0.60	0.69	0.75
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.01	0.06	0.11	0.17
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-5.87	-4.11	-2.59	-1.31	-0.26	0.48
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-1.95	1.30	4.40	7.37	10.18	12.62
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.36	0.58	0.73	0.83	0.89	0.92
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.05	0.16	0.29	0.41	0.51	0.57

Tabla de Evaluación 76:

Reutilización Celular Monobanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

b) Reutilización Celular Tribanda

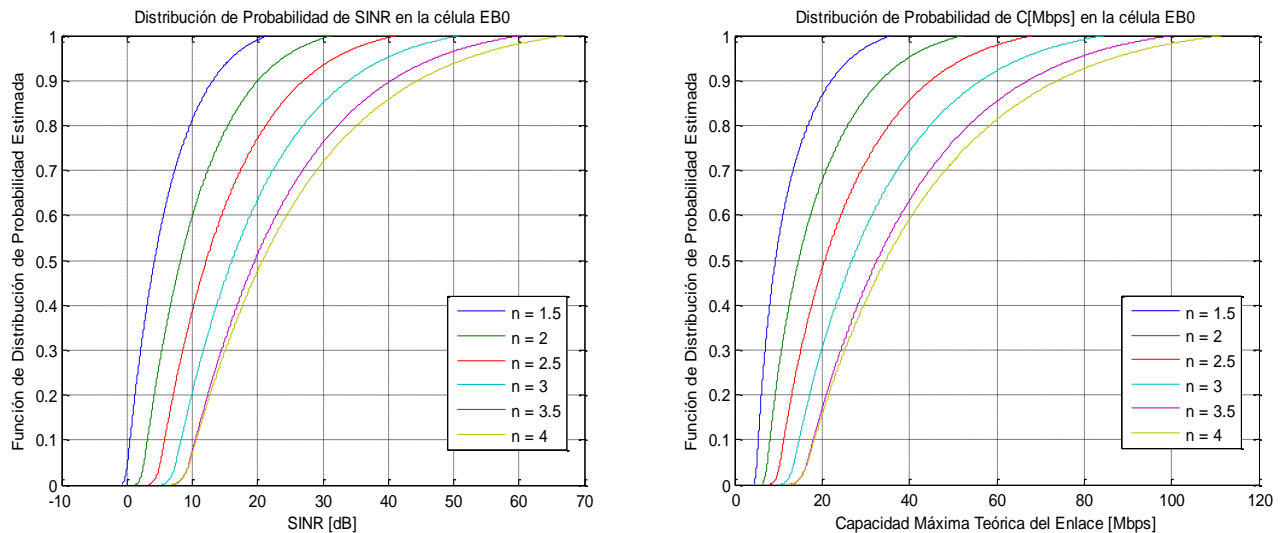


Figura de Evaluación 123: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Celular Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

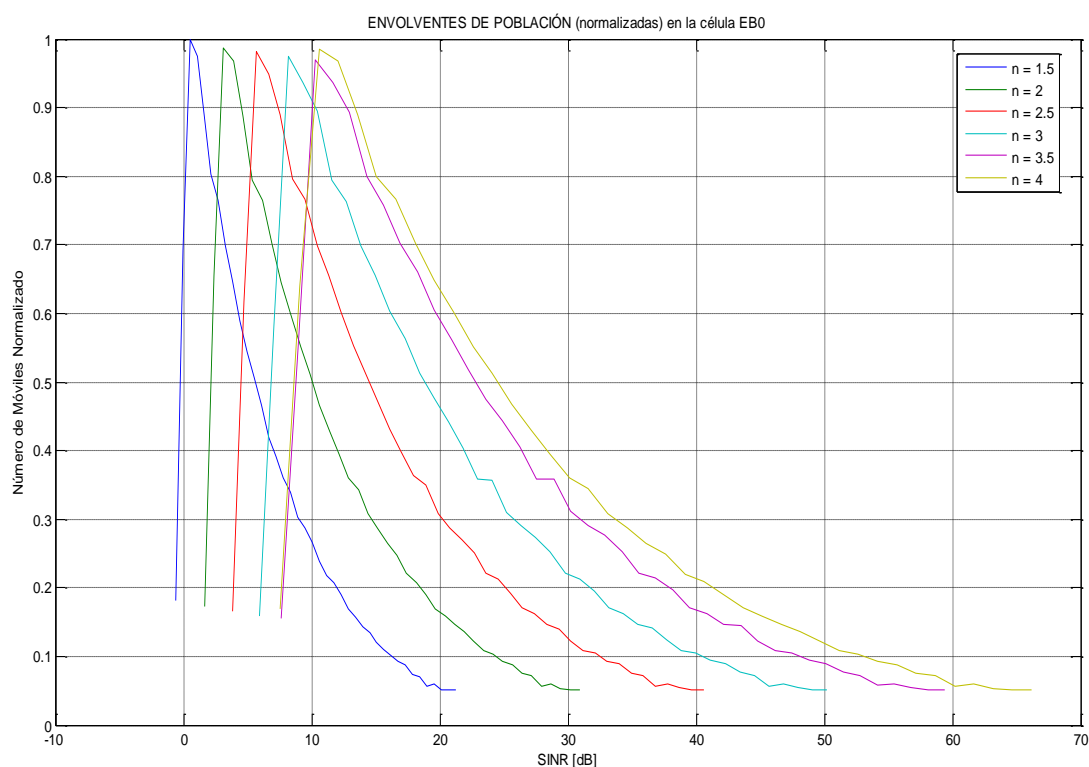


Figura de Evaluación 124: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Celular Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	6.50	9.96	14.05	18.47	22.54	23.26
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	9.35	14.66	20.65	26.89	32.62	34.57
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	14.90	23.16	31.88	40.65	48.80	52.93
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	22.19	33.50	45.02	56.51	67.32	74.05
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.46	0.75	0.97	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.01	0.07	0.15	0.24	0.28
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.02
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.47	3.14	5.76	8.30	10.48	10.63
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.24	8.22	12.18	16.08	19.59	20.78
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.19	0.40	0.61	0.80	0.93	0.93

Tabla de Evaluación 77:
Reutilización Celular Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

c) Reutilización Celular Heptabanda

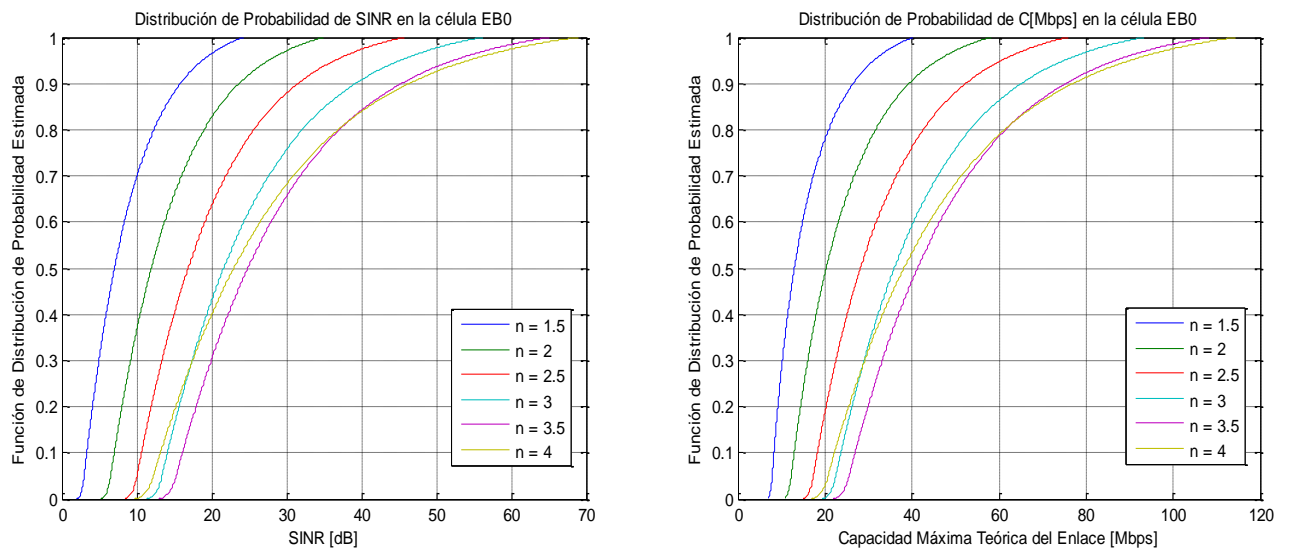


Figura de Evaluación 125: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
 (Reutilización Celular Heptabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

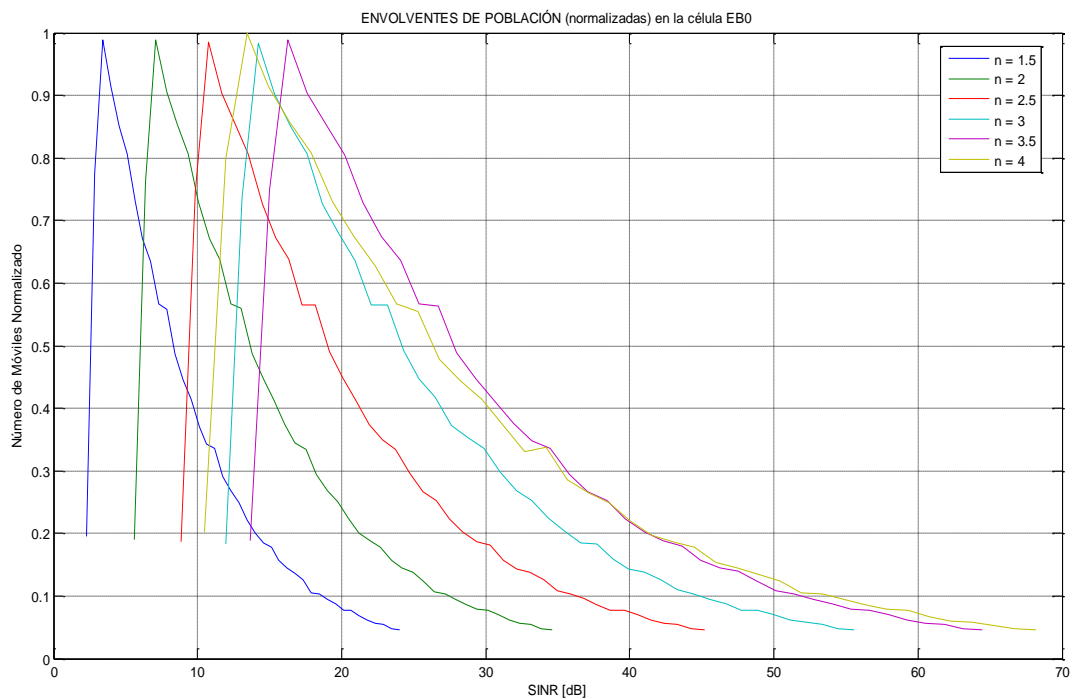


Figura de Evaluación 126: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
 (Reutilización Celular Heptabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	9.69	15.21	21.38	27.59	31.50	27.23
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	12.98	20.31	28.16	35.92	41.23	38.15
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	18.96	28.99	39.30	49.41	56.97	56.03
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	26.50	39.43	52.45	65.22	75.41	77.07
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.72	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.03	0.12	0.24	0.34	0.32
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0.01	0.02
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.33	7.00	10.64	14.10	16.11	13.17
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	7.03	11.96	16.86	21.60	24.81	22.95
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.63	0.95	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 78:

Reutilización Celular Heptabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

d) Reutilización Sectorial Tribanda

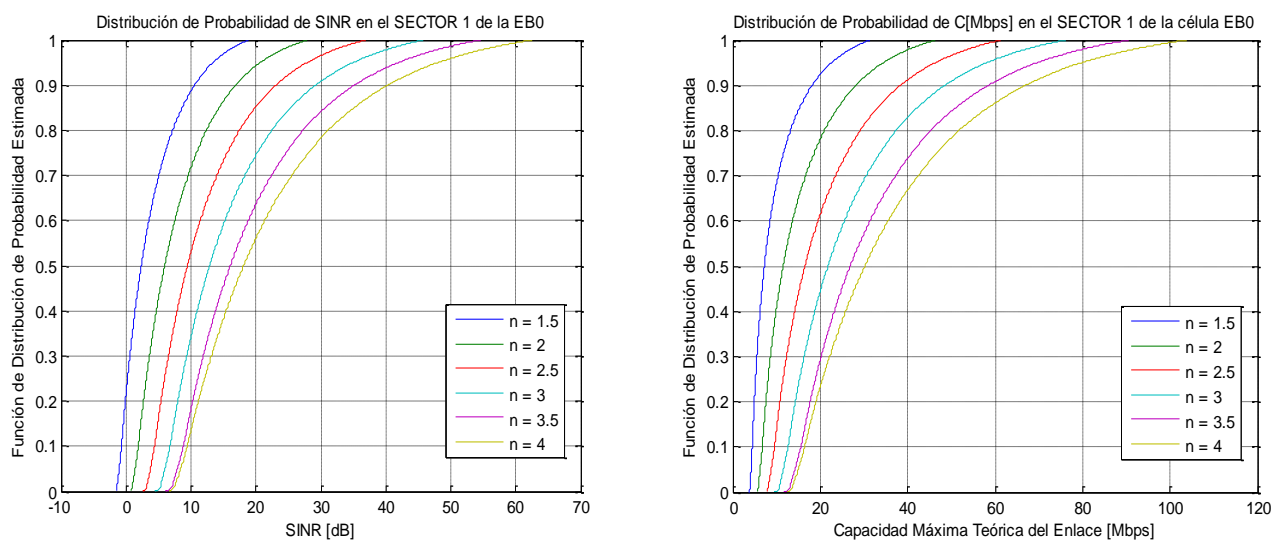


Figura de Evaluación 127: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización Sectorial Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

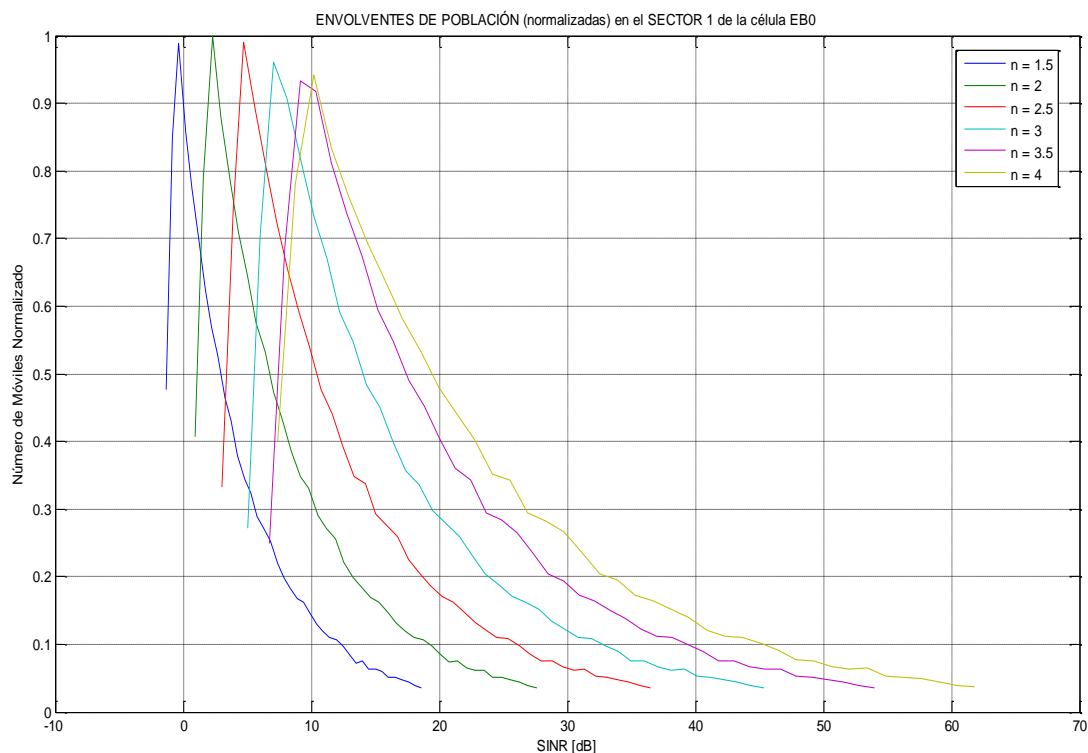


Figura de Evaluación 128: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización Sectorial Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	5.20	8.07	11.51	15.28	18.92	20.54
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	7.22	11.54	16.51	21.76	26.85	30.16
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	11.63	18.61	26.09	33.64	40.95	46.78
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	18.17	28.22	38.46	48.63	58.52	67.04
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.32	0.59	0.86	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0	0.03	0.09	0.16	0.22
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0.01
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-0.69	1.90	4.39	6.77	8.84	9.43
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.36	5.96	9.48	12.88	16.06	18.09
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.78	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.11	0.28	0.47	0.66	0.82	0.87

Tabla de Evaluación 79:
Reutilización Sectorial Tribanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

e) Reutilización Sectorial Tetrabanda

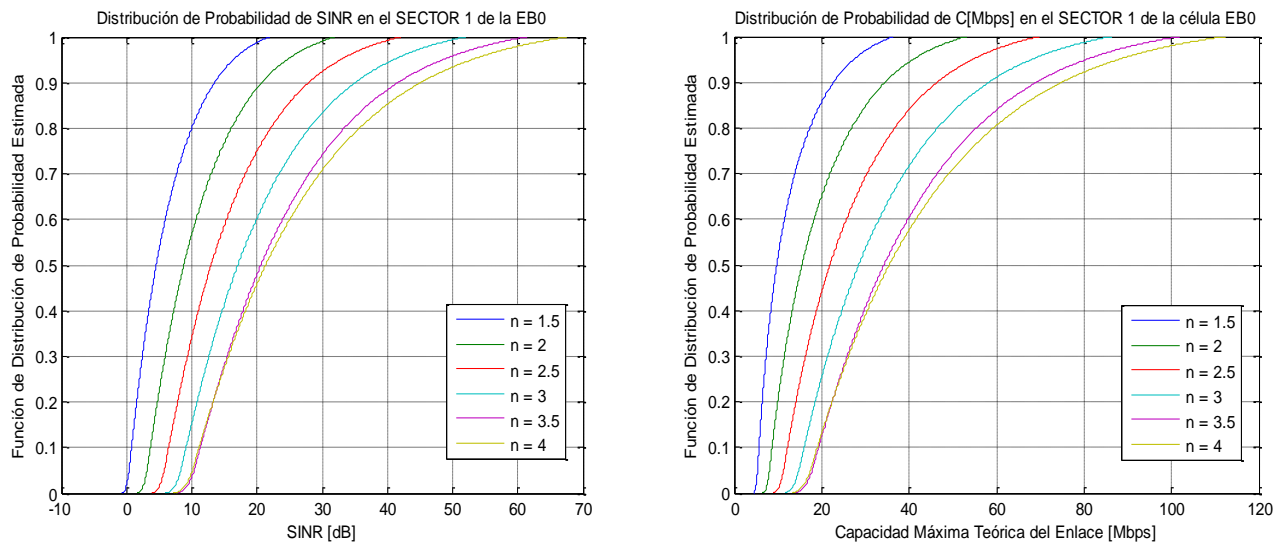


Figura de Evaluación 129: Curvas de CDF(SINR[dB]) y CDF(R[Mbps])
(Reutilización Sectorial Tetrabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

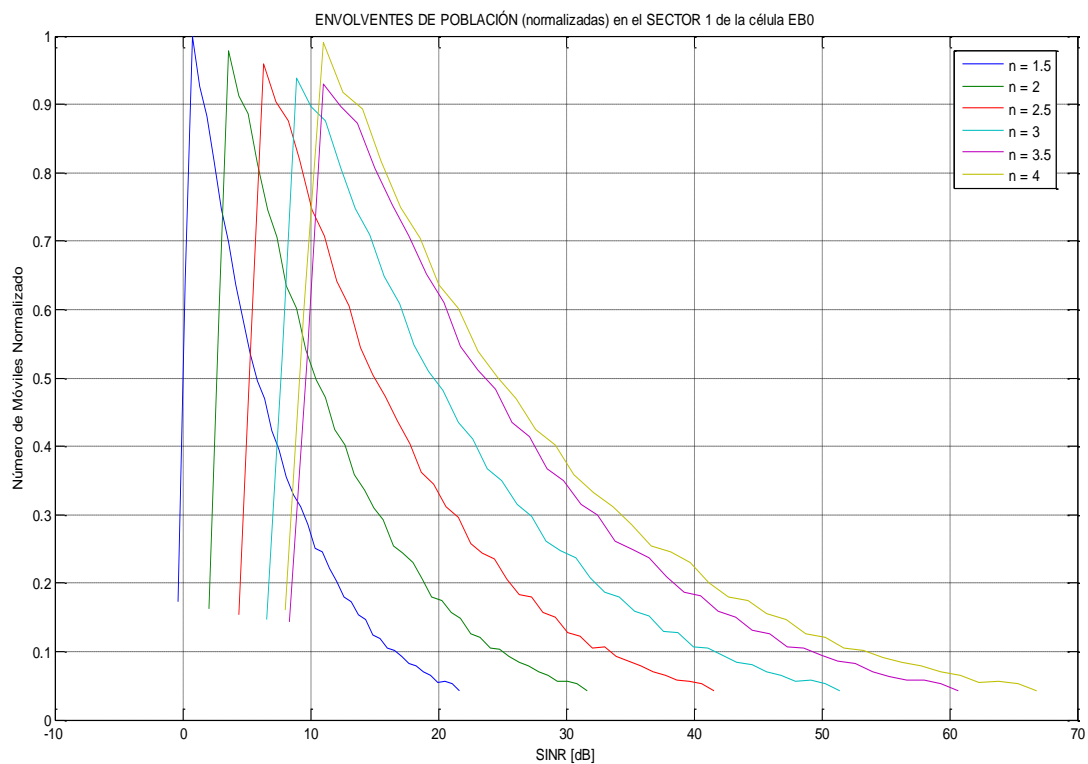


Figura de Evaluación 130: Comparativa de Envoltentes de Población de SINR
(Reutilización Sectorial Tetrabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	6.82	10.67	15.16	19.90	24.06	24.17
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	9.73	15.49	21.88	28.44	34.23	35.42
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	15.40	24.14	33.28	42.40	50.61	53.85
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	22.74	34.54	46.48	58.33	69.21	74.99
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.48	0.80	0.99	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0	0.01	0.08	0.17	0.26	0.29
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0.00	0.02
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.75	3.65	6.45	9.13	11.32	11.11
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.55	8.78	12.96	17.04	20.57	21.30
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.20	0.43	0.66	0.85	0.96	0.96

Tabla de Evaluación 80:

Reutilización Sectorial Tetrabanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

f) Reutilización FFR Bibanda

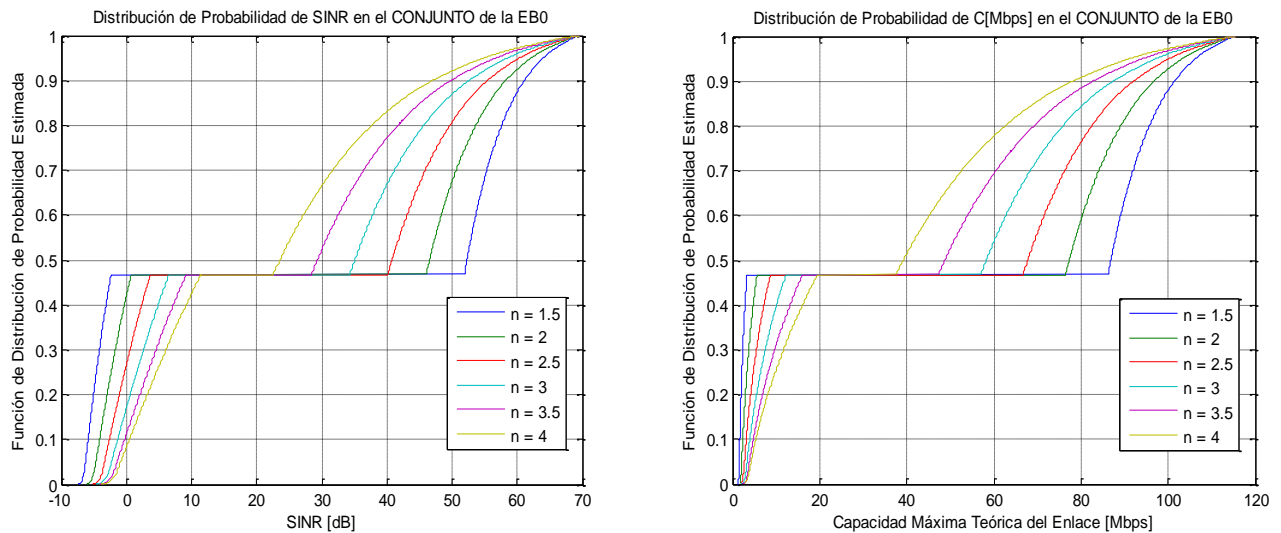


Figura de Evaluación 131: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR Bibanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

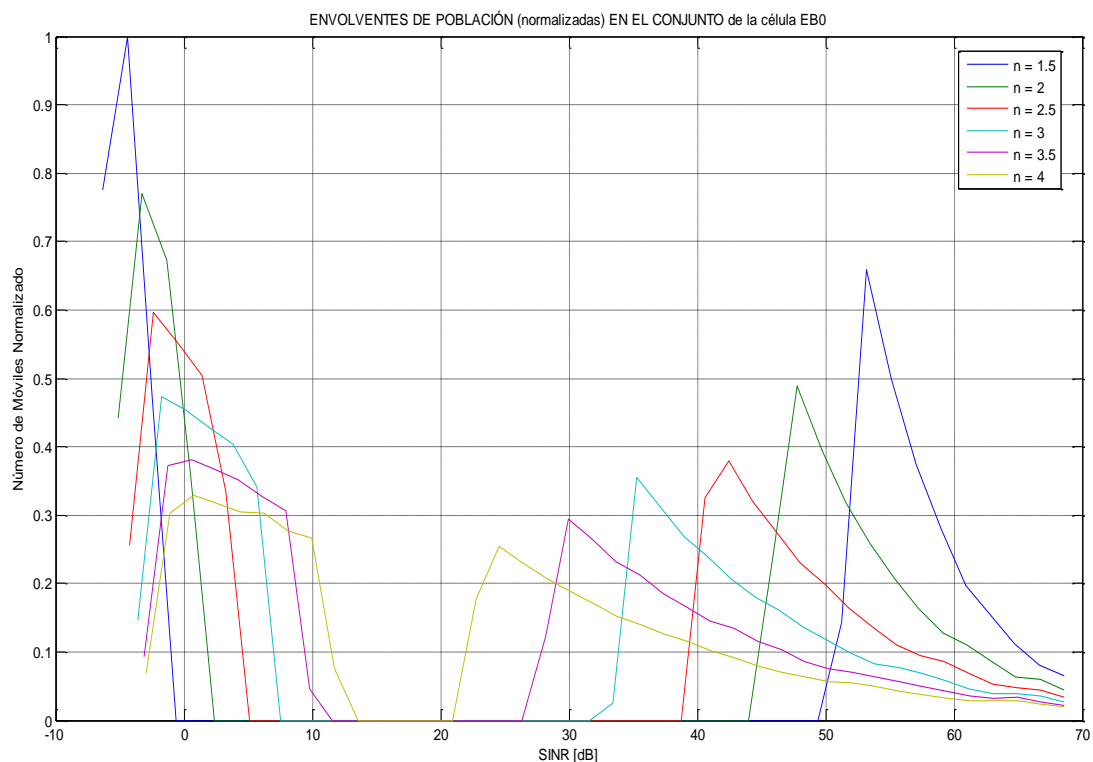


Figura de Evaluación 132: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR Bibanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	2.14	3.32	4.78	6.45	8.22	9.80
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	86.86	77.32	67.78	58.23	48.70	39.17
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	93.67	86.39	79.11	71.83	64.56	57.28
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	101.49	96.83	92.16	87.49	82.82	78.15
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.60	0.69	0.74
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.47	0.33
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.12	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-5.87	-4.11	-2.60	-1.32	-0.28	0.47
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	52.30	46.55	40.80	35.06	29.31	23.57
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.53	0.58	0.73	0.83	0.89	0.92
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.57

Tabla de Evaluación 81:
Reutilización FFR Bibanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

g) Reutilización FFR 3+1

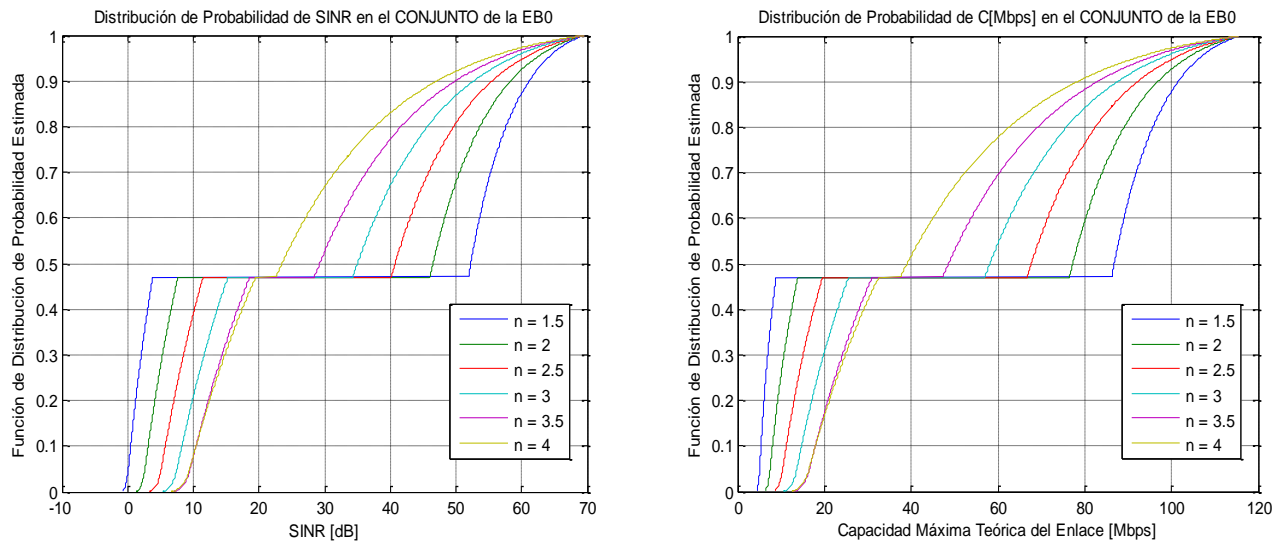


Figura de Evaluación 133: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

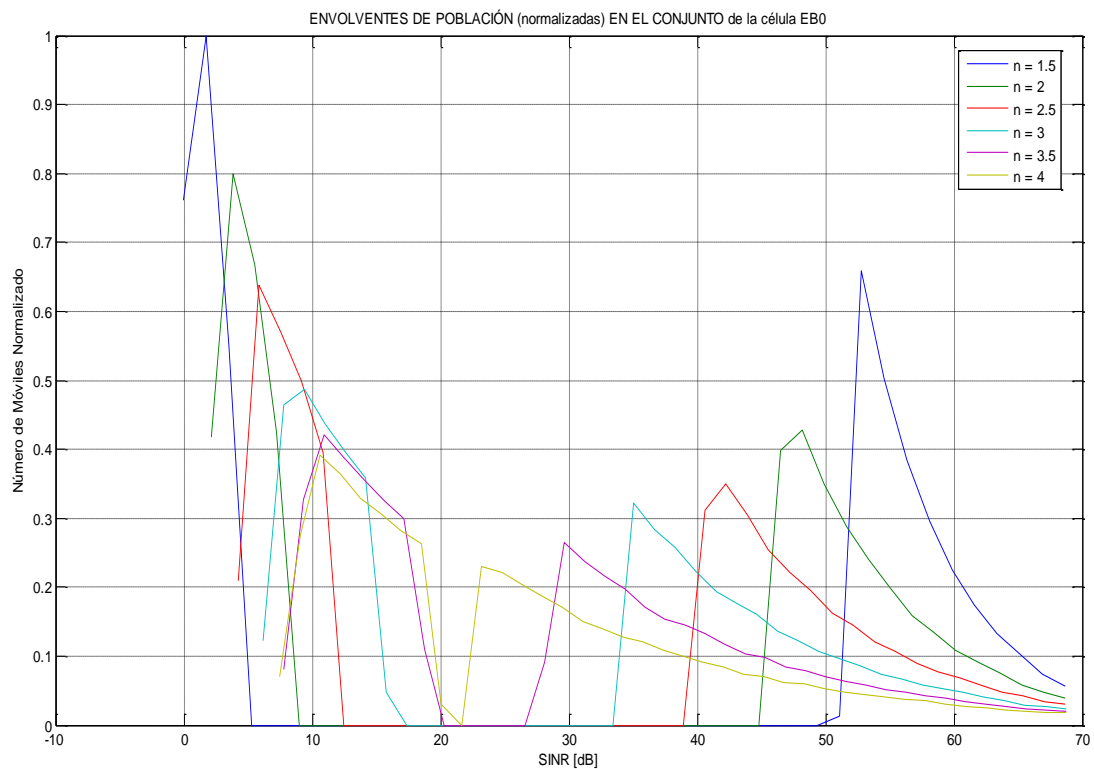


Figura de Evaluación 134: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	6.49	9.94	14.02	18.43	22.44	22.92
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	86.81	77.25	67.69	58.13	48.58	39.04
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	93.64	86.36	79.08	71.79	64.51	57.23
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	101.61	96.98	92.35	87.71	83.08	78.45
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.53	0.75	0.97	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.47	0.33
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.12	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.46	3.13	5.74	8.28	10.43	10.44
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	52.27	46.51	40.75	35.00	29.24	23.49
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.53	0.53	0.61	0.79	0.92	0.92

Tabla de Evaluación 82:

Reutilización FFR 3+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

h) Reutilización FFR 7+1

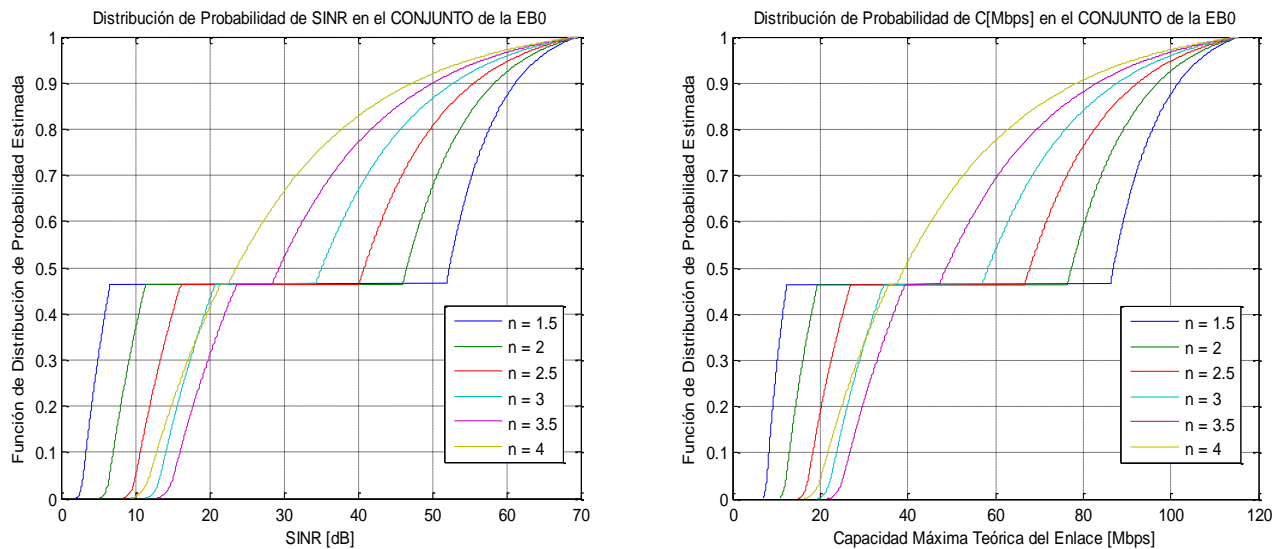


Figura de Evaluación 135: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

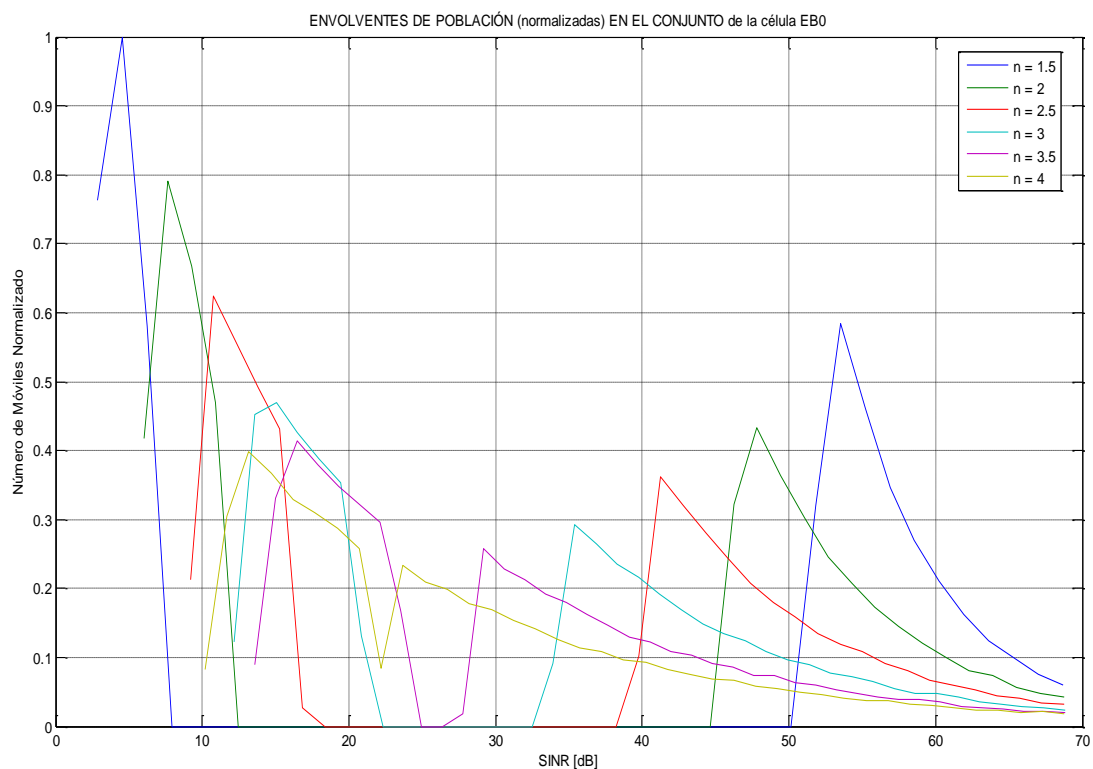


Figura de Evaluación 136: Comparativa de Envolturas de Población de SINR (Reutilización FFR 7+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	9.69	15.22	21.39	27.57	31.28	26.67
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	86.90	77.37	67.84	58.31	48.79	39.28
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	93.69	86.42	79.16	71.89	64.62	57.35
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	101.71	97.12	92.52	87.93	83.33	78.74
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.72	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.54	0.54	0.54	0.54	0.48	0.33
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.12	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.36	7.04	10.68	14.14	16.03	12.89
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	52.32	46.58	40.84	35.11	29.37	23.63
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.54	0.64	0.96	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 83:
Reutilización FFR 7+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

i) Reutilización FFR 3+3

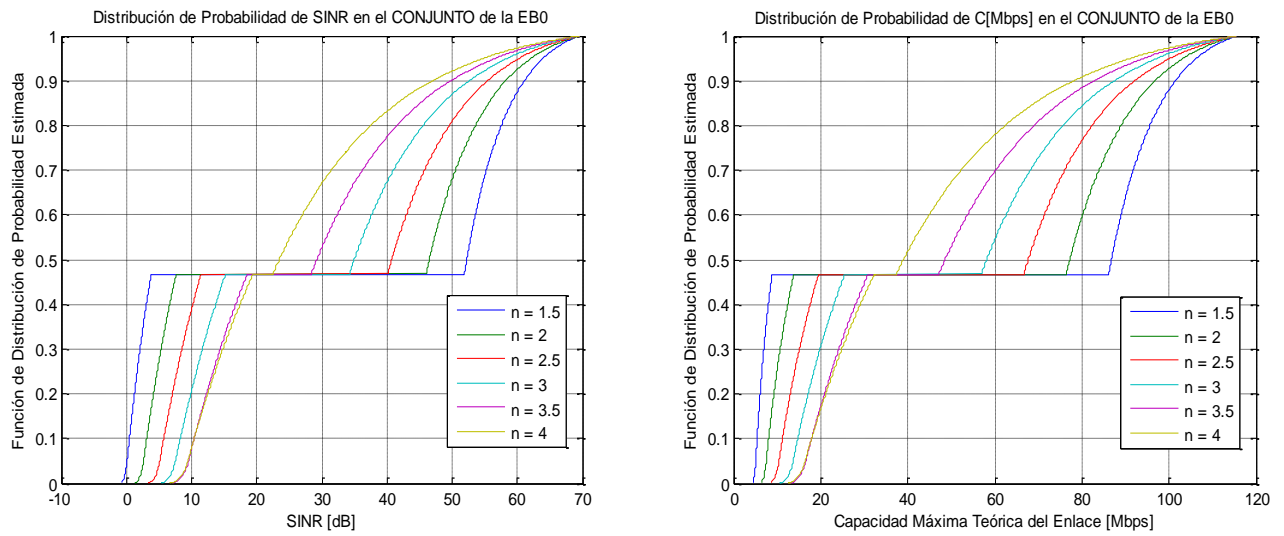


Figura de Evaluación 137: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

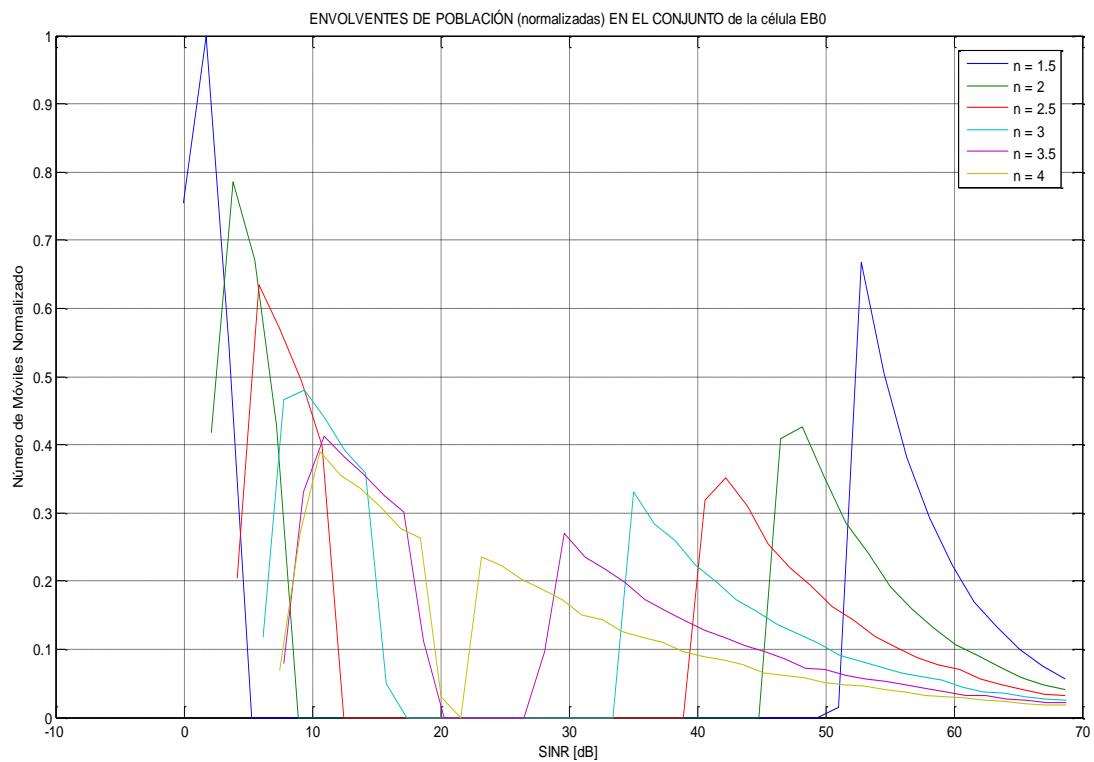


Figura de Evaluación 138: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	6.50	9.96	14.05	18.46	22.48	22.94
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	86.79	77.22	67.66	58.09	48.53	38.98
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	93.56	86.25	78.94	71.63	64.32	57.01
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	101.53	96.88	92.22	87.57	82.91	78.26
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.53	0.75	0.97	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.47	0.33
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.12	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.46	3.12	5.74	8.27	10.41	10.40
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	52.25	46.49	40.73	34.97	29.21	23.45
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.53	0.53	0.61	0.79	0.92	0.92

Tabla de Evaluación 84:

Reutilización FFR 3+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

j) Reutilización FFR 7+3

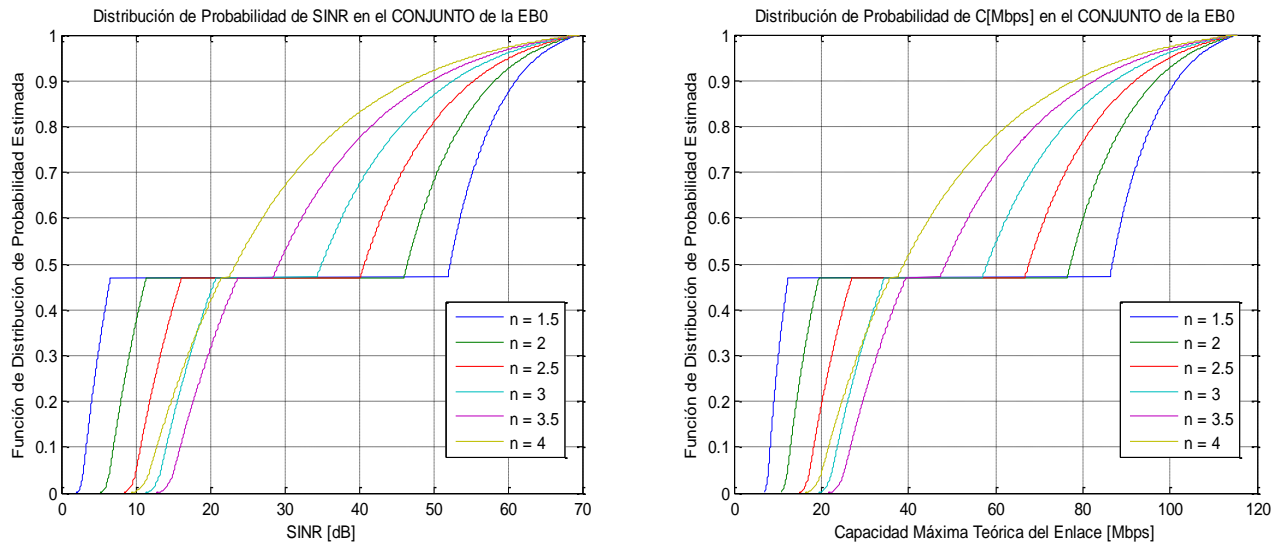


Figura de Evaluación 139: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

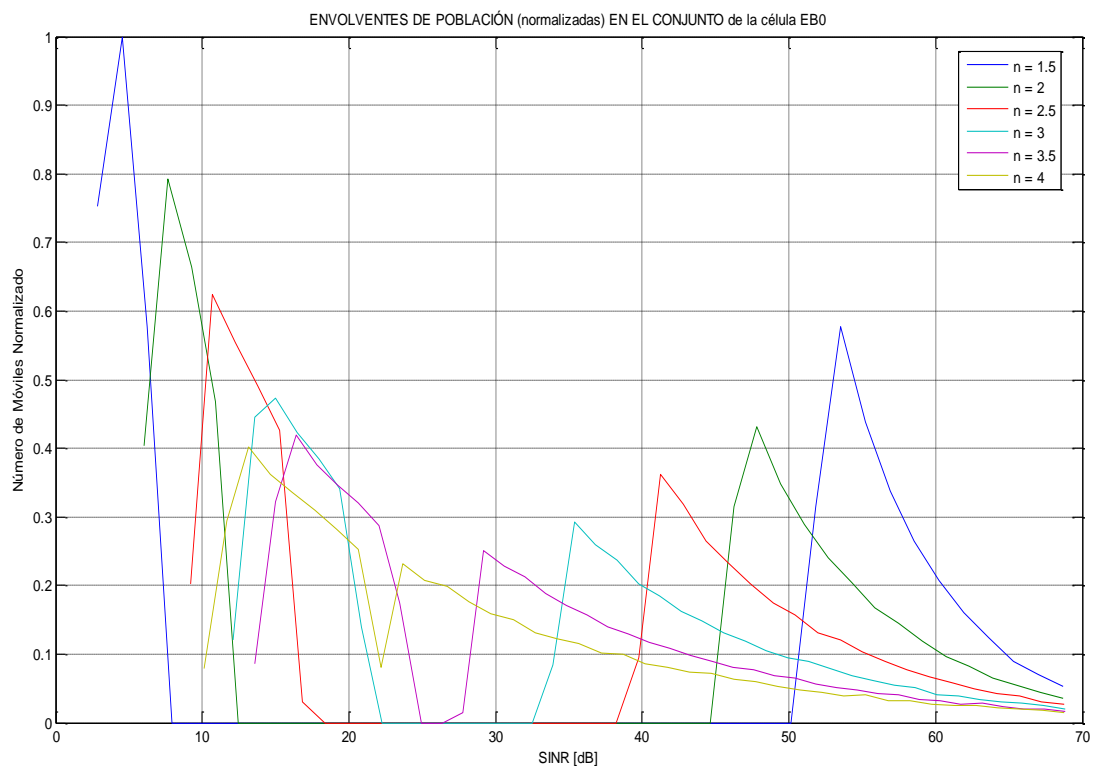


Figura de Evaluación 140: Comparativa de Envolventes de Población de SINR (Reutilización FFR 7+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	9.66	15.16	21.31	27.48	31.16	26.53
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	86.80	77.24	67.68	58.11	48.56	39.01
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	93.57	86.27	78.96	71.65	64.35	57.04
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	101.52	96.86	92.20	87.54	82.88	78.22
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	0.72	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.47	0.33
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.12	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0	0	0	0	0	0
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.34	7.02	10.65	14.10	15.99	12.84
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	52.26	46.50	40.74	34.99	29.23	23.47
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.53	0.63	0.96	1.00	1.00	1.00

Tabla de Evaluación 85:
Reutilización FFR 7+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

3.4.2.2. Asignación de Máximo Ancho de Banda al Radiocanal

3.4.2.2.1. Población Uniformemente Distribuida

a) Reutilización FFR Bibanda

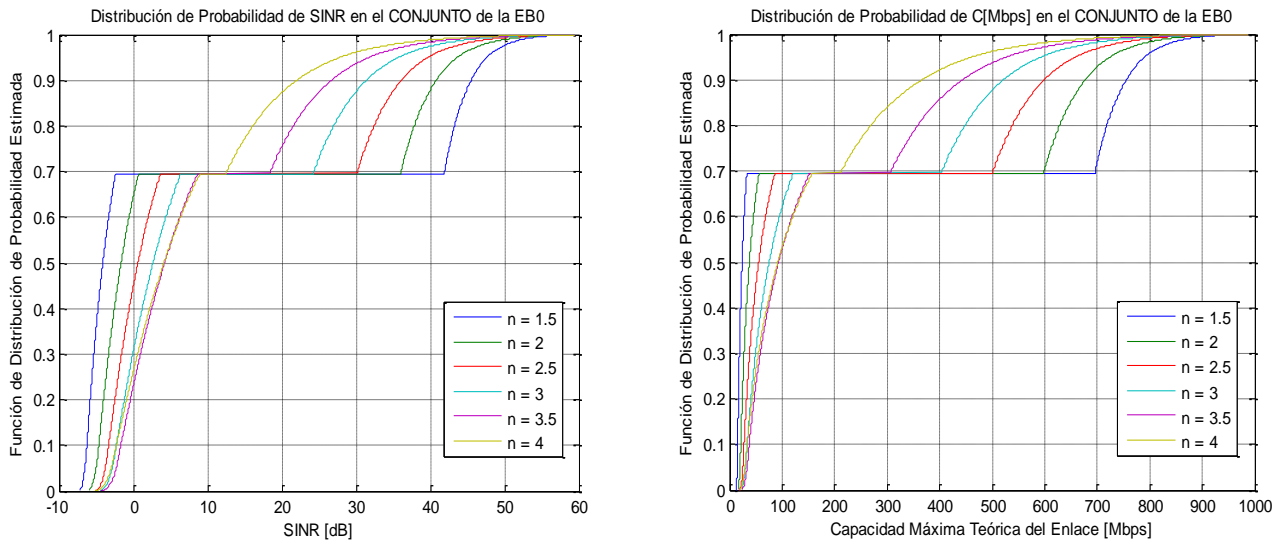


Figura de Evaluación 141: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

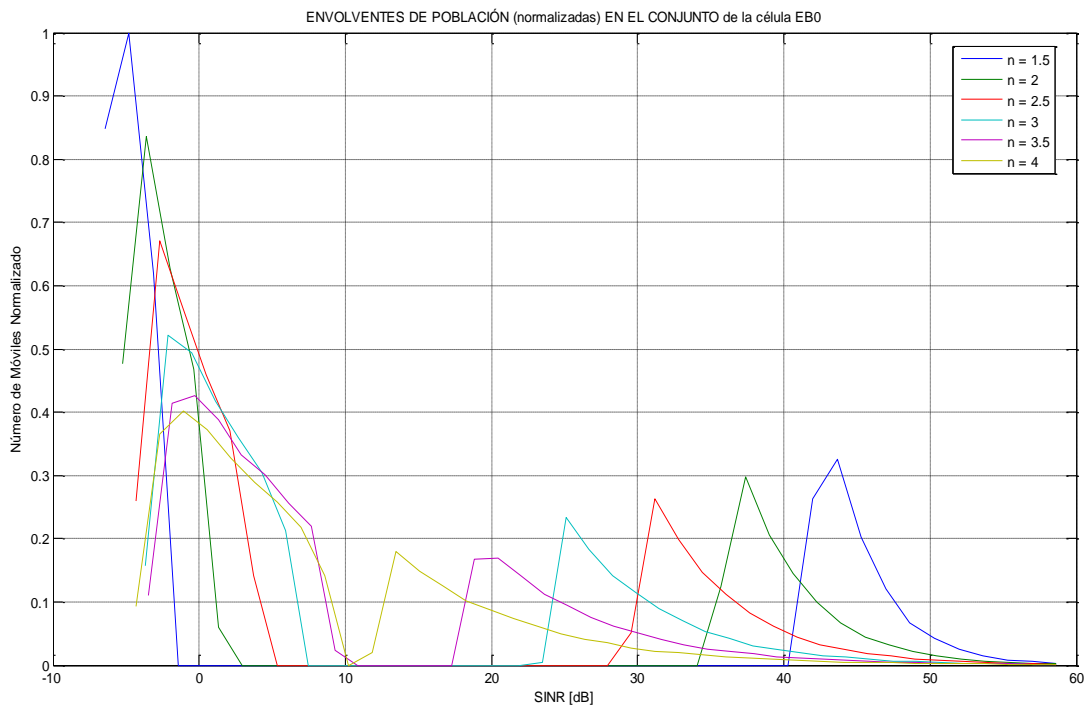
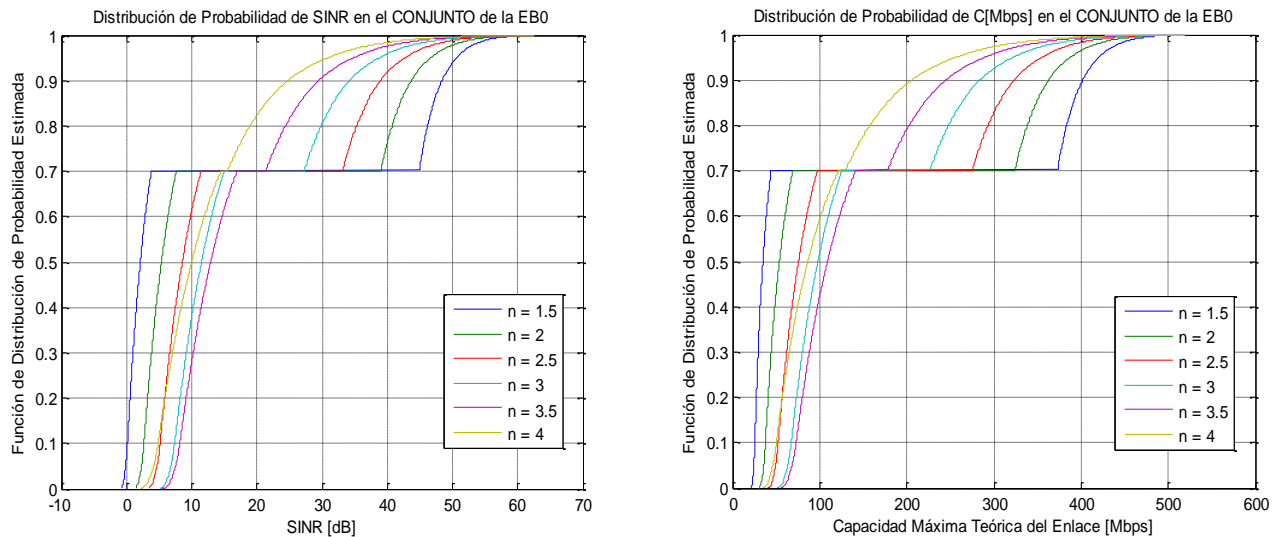


Figura de Evaluación 142: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	17.67	25.74	35.07	44.79	52.33	48.61
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	23.69	37.64	55.38	75.49	93.37	92.09
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	706.34	612.17	518.03	424.00	330.36	238.15
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	755.63	677.88	600.14	522.43	444.78	367.32
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.35	0.55	0.69	0.77	0.74
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.38	0.47	0.47
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-6.25	-4.66	-3.33	-2.29	-1.68	-2.29
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	-4.10	-1.64	0.62	2.67	4.23	4.12
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.30	0.35	0.55	0.69	0.77	0.74
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

Tabla de Evaluación 86:Reutilización FFR Bibanda con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

b) Reutilización FFR 3+1

**Figura de Evaluación 143:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

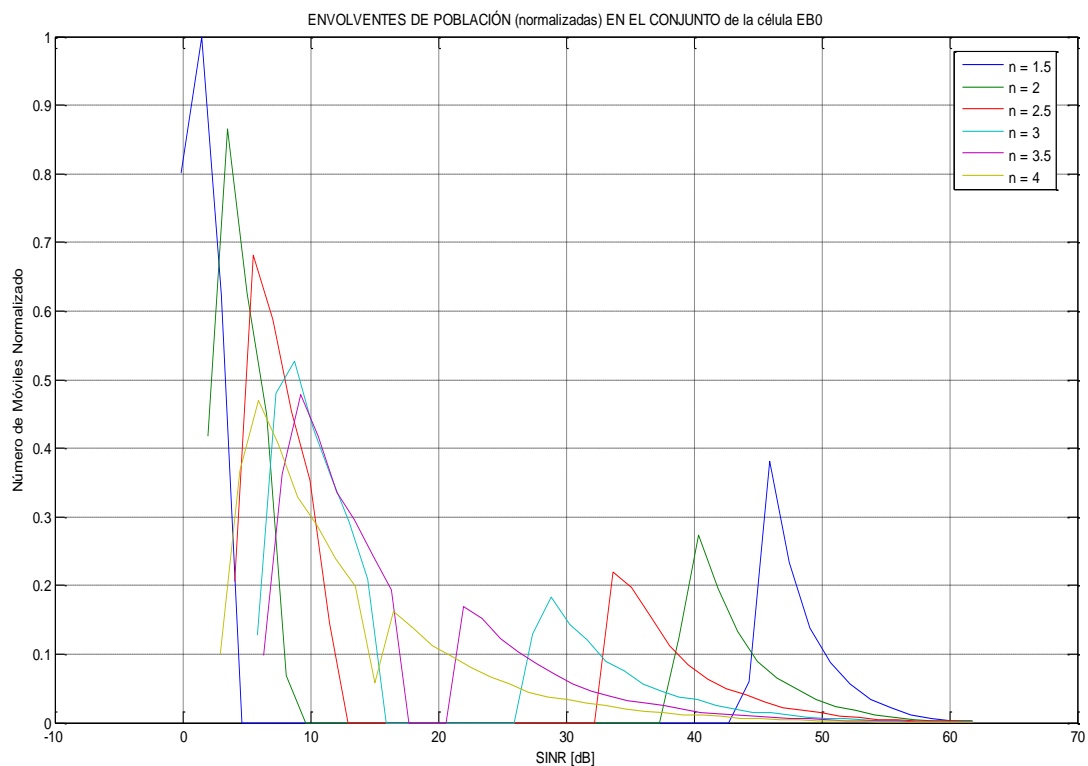


Figura de Evaluación 144: Comparativa de Envolventes de Población de SINR (Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	28.30	42.55	59.47	76.78	84.13	61.10
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	34.88	53.79	75.84	98.13	109.14	86.59
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	377.67	330.41	283.17	235.95	188.83	142.09
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	401.96	362.81	323.65	284.50	245.37	206.29
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.57	0.94	1.00	1.00	0.91
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.48	0.58	0.41
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.21	0.11
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.13	2.67	5.15	7.37	8.18	4.85
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.12	5.37	8.57	11.52	12.93	10.01
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.30	0.39	0.62	0.72	0.50

Tabla de Evaluación 87:
Reutilización FFR 3+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

c) Reutilización FFR 7+1

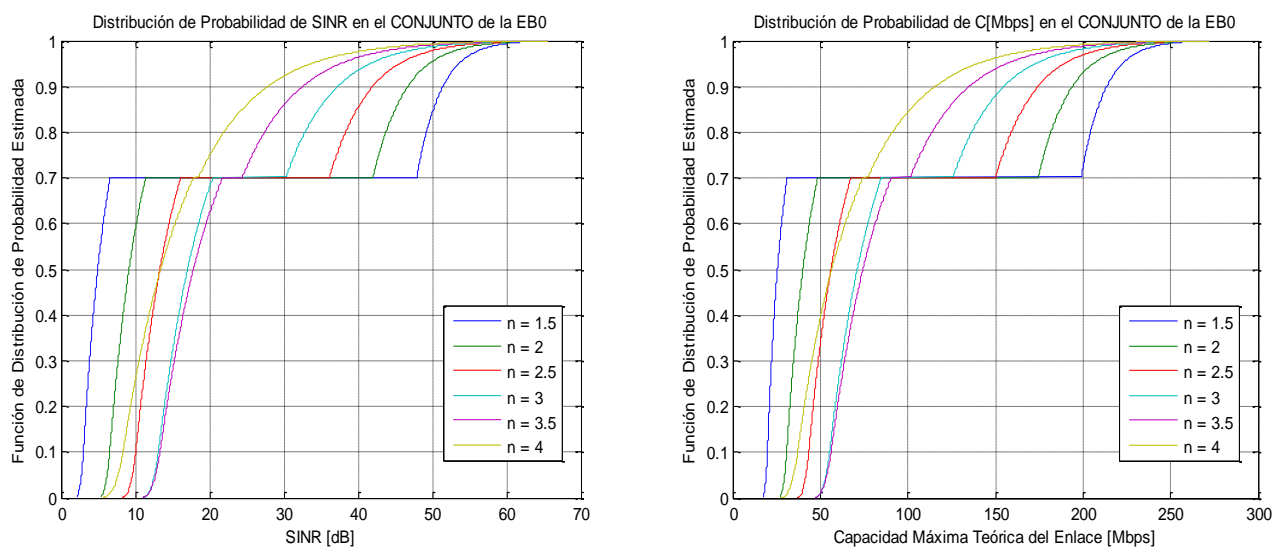


Figura de Evaluación 145: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

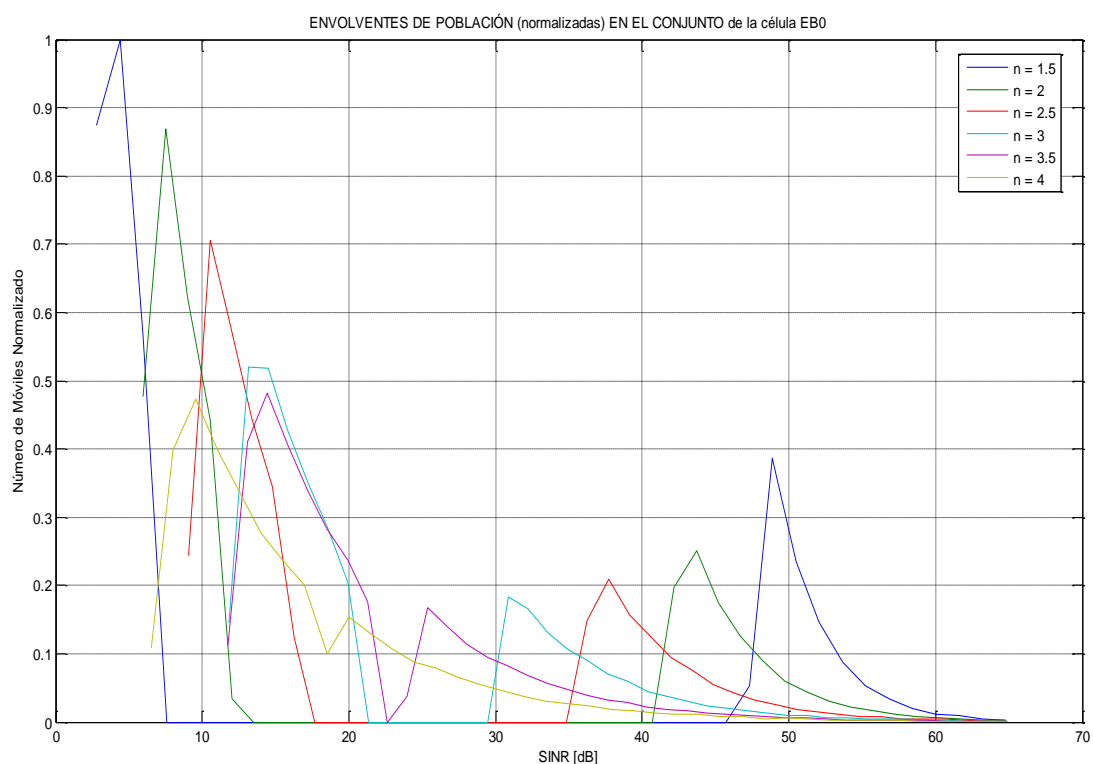
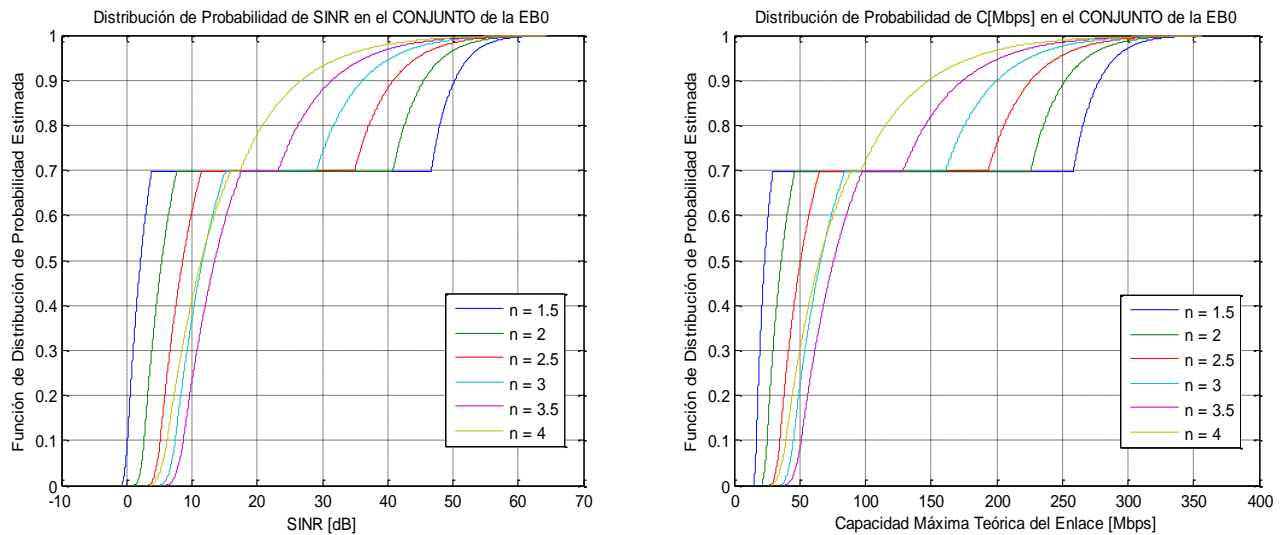


Figura de Evaluación 146: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	21.50	33.63	47.34	60.22	61.78	42.95
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	25.52	40.07	56.11	71.12	74.35	56.50
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	201.34	177.71	154.09	130.47	106.88	83.38
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	213.54	193.99	174.43	154.87	135.32	115.78
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.66	0.99	0.99	0.61
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.16
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.28	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.00	6.55	10.05	13.11	13.32	8.34
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.94	9.15	13.32	17.04	17.83	13.41
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.41	0.91	1.00	1.00	0.74

Tabla de Evaluación 88:Reutilización FFR 7+1 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

d) Reutilización FFR 3+3

**Figura de Evaluación 147:** Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

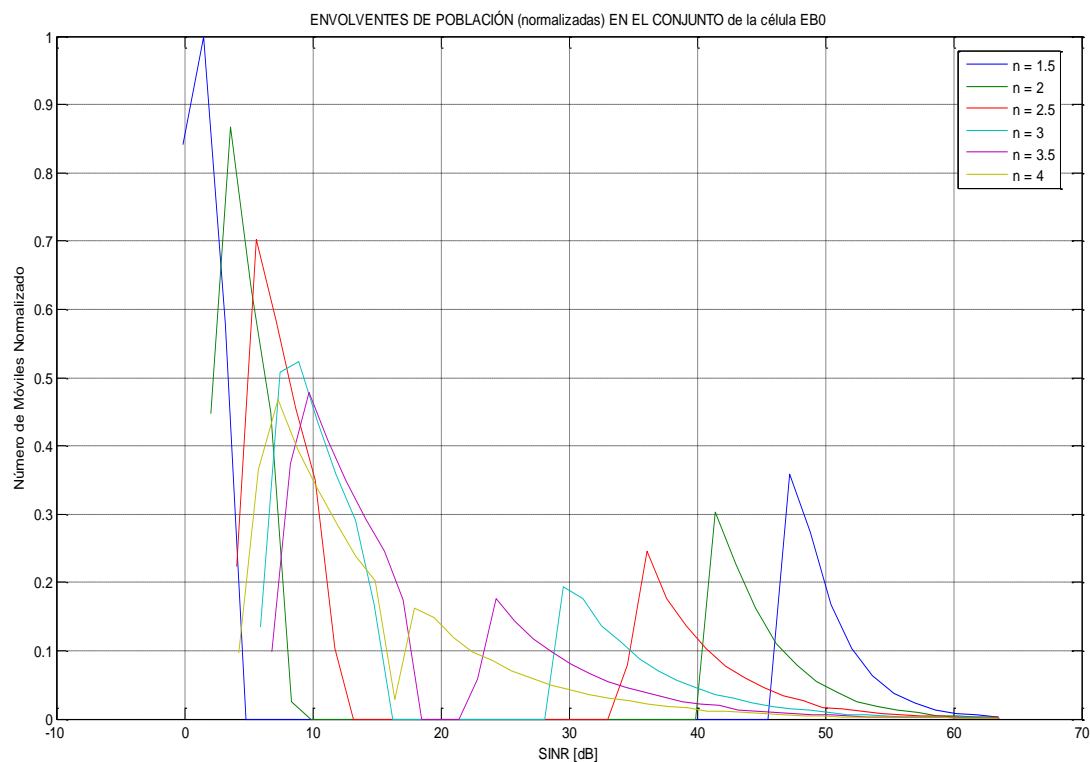


Figura de Evaluación 148: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	18.84	28.32	39.62	51.51	58.71	47.04
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	23.31	35.96	50.75	66.06	75.99	65.14
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	261.80	230.39	198.98	167.59	136.24	105.05
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	278.27	252.35	226.43	200.51	174.59	148.70
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.51	0.78	0.92	0.70
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.24	0.10	0.05	0.03
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.13	2.67	5.15	7.45	8.69	6.21
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.14	5.39	8.61	11.64	13.54	11.47
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.30	0.39	0.63	0.77	0.59

Tabla de Evaluación 89:
Reutilización FFR 3+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

e) Reutilización FFR 7+3

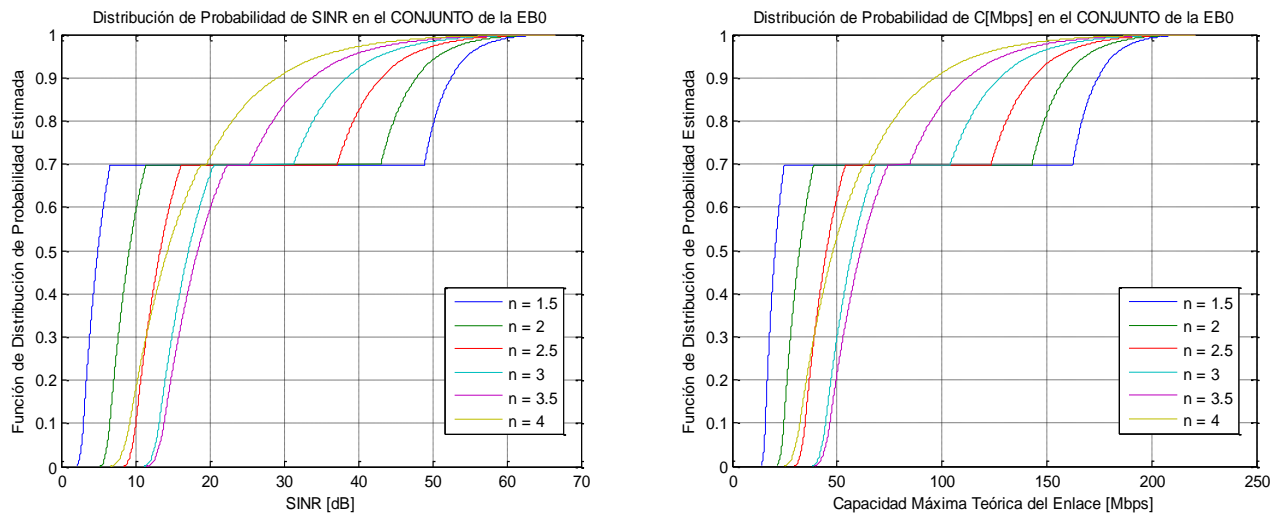


Figura de Evaluación 149: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

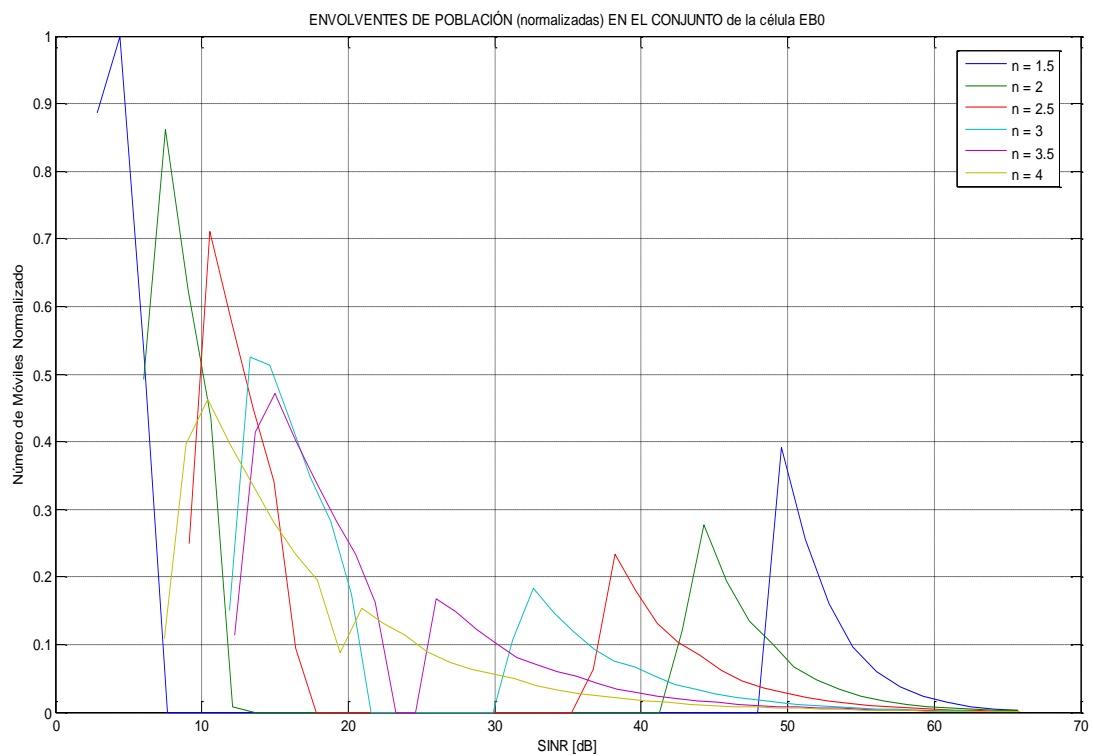


Figura de Evaluación 150: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	17.22	26.94	37.94	48.53	51.21	37.15
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	20.46	32.13	45.01	57.32	61.39	48.21
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	164.49	145.65	126.82	107.99	89.17	70.42
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	174.52	159.02	143.53	128.04	112.55	97.07
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.38	0.70	0.79	0.47
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.16	0.09
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.01	6.56	10.06	13.21	13.86	9.24
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	4.95	9.18	13.35	17.17	18.42	14.36
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.30	0.41	0.91	1.00	1.00	0.83

Tabla de Evaluación 90:Reutilización FFR 7+3 con Población Uniformemente Distribuida y $r=3$ Km.

3.4.2.2.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia

a) Reutilización FFR Bibanda

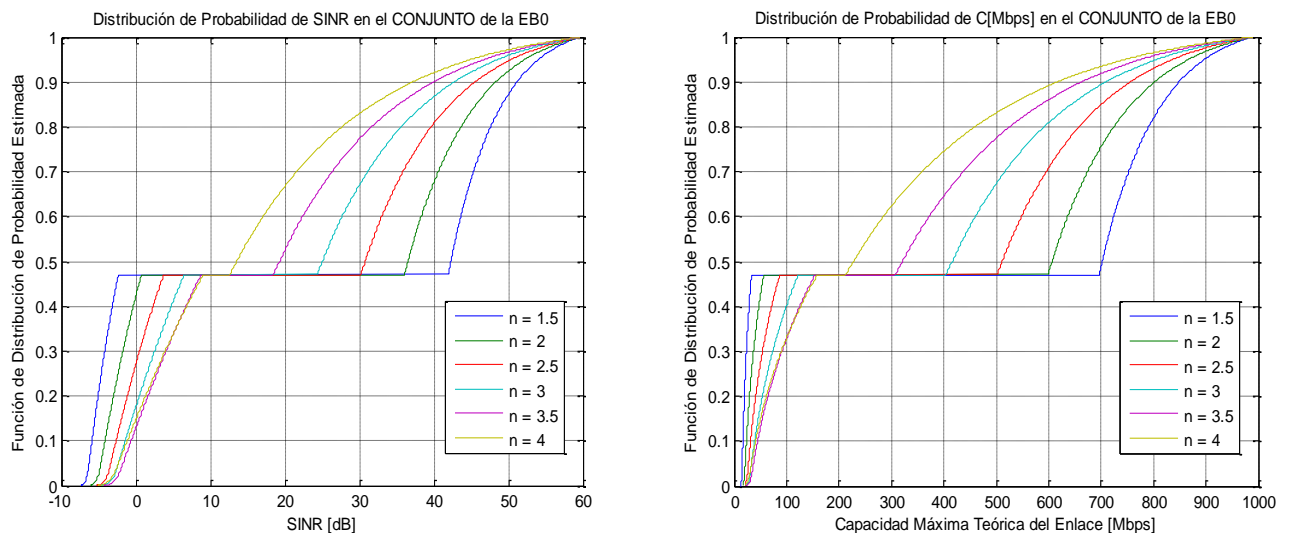


Figura de Evaluación 151: Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$
 (Reutilización FFR Bibanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

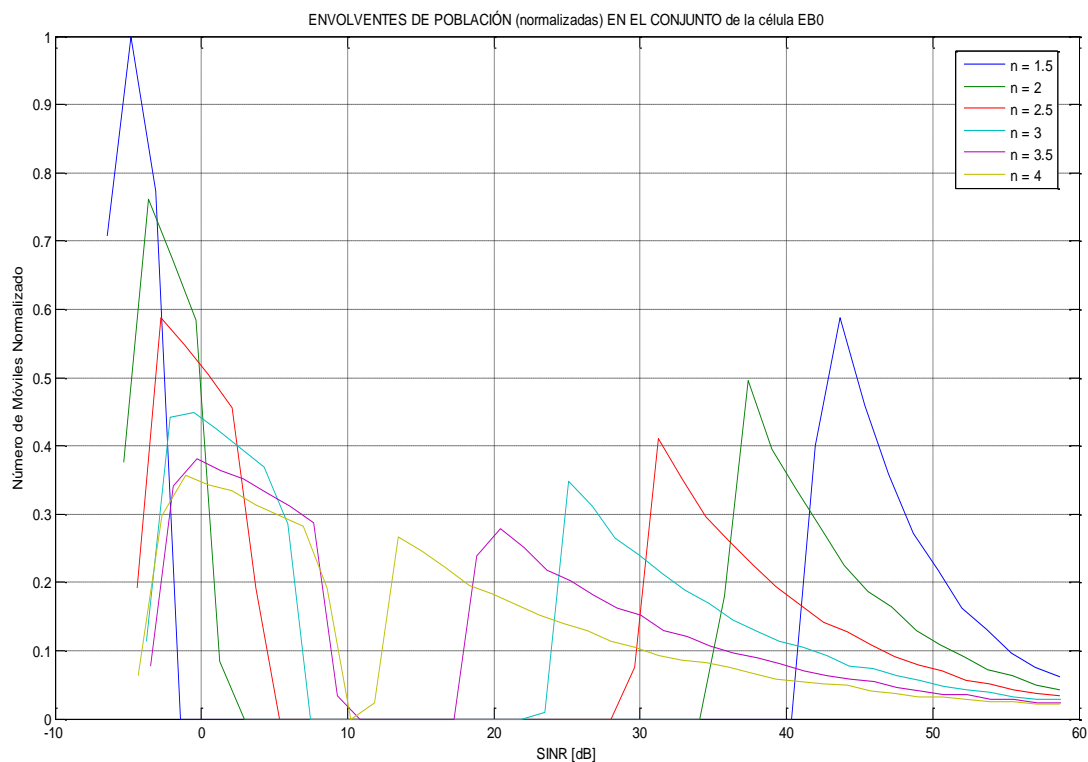


Figura de Evaluación 152: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR Bibanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	21.33	32.93	47.33	63.34	77.16	74.68
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	702.28	606.76	511.27	415.90	320.99	227.74
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	770.15	697.25	624.34	551.46	478.61	405.86
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	849.54	803.09	756.65	710.21	663.76	617.32
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.53	0.58	0.73	0.82	0.87	0.85
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.60	0.67	0.67
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-5.89	-4.14	-2.64	-1.42	-0.63	-1.16
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	42.28	36.53	30.78	25.03	19.27	13.52
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.53	0.58	0.73	0.82	0.87	0.85
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53

Tabla de Evaluación 91:
Reutilización FFR Bibanda con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

b) Reutilización FFR 3+1

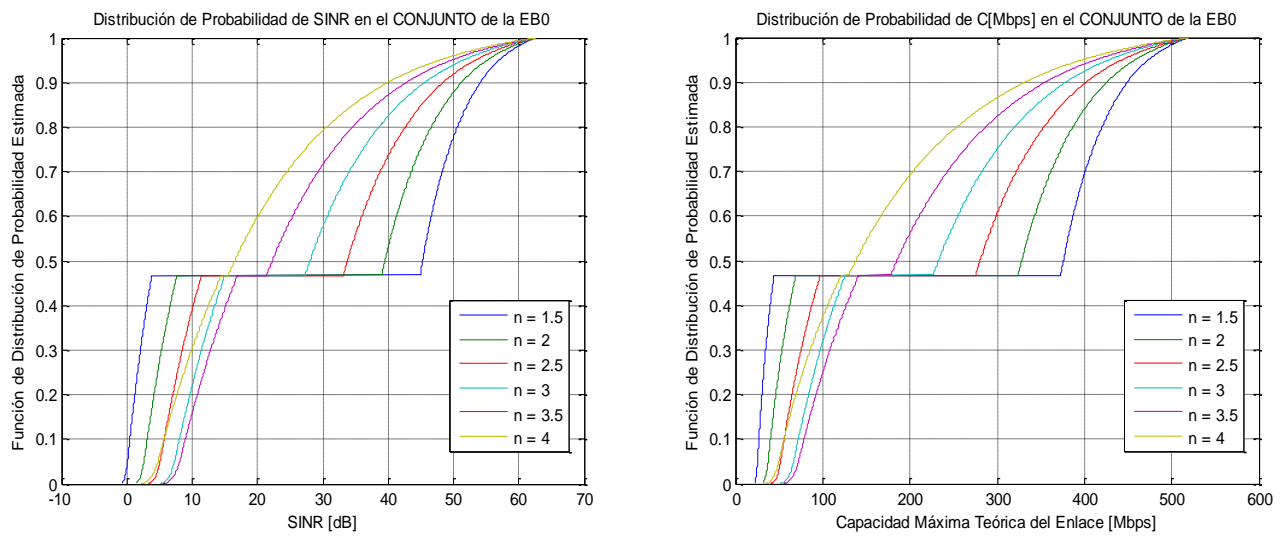


Figura de Evaluación 153: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

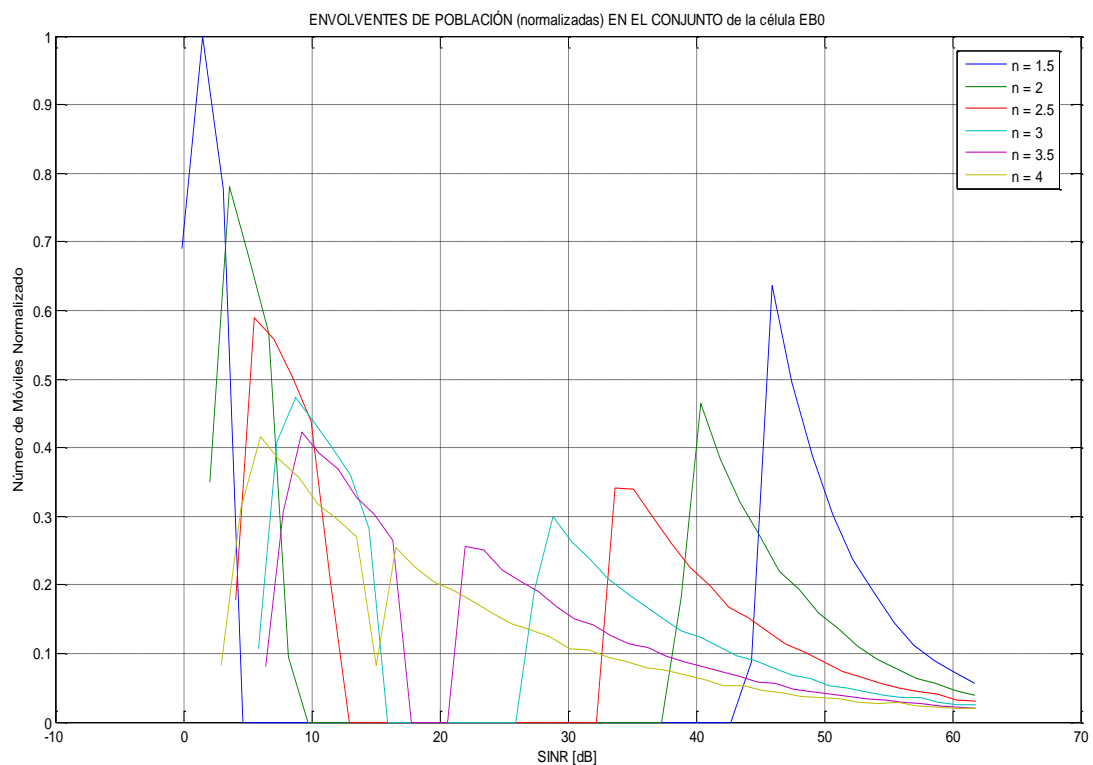


Figura de Evaluación 154: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	32.48	49.72	69.98	90.56	100.27	77.34
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	376.08	328.30	280.52	232.78	185.15	137.94
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	409.71	373.13	336.55	299.98	263.42	226.88
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	449.31	425.94	402.56	379.19	355.81	332.44
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.53	0.75	0.97	1.00	1.00	0.95
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.68	0.75	0.63
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.44	0.31
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.46	3.12	5.71	8.06	8.97	5.70
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	45.28	39.53	33.78	28.02	22.27	16.51
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.53	0.53	0.61	0.78	0.84	0.70

Tabla de Evaluación 92:

Reutilización FFR 3+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

c) Reutilización FFR 7+1

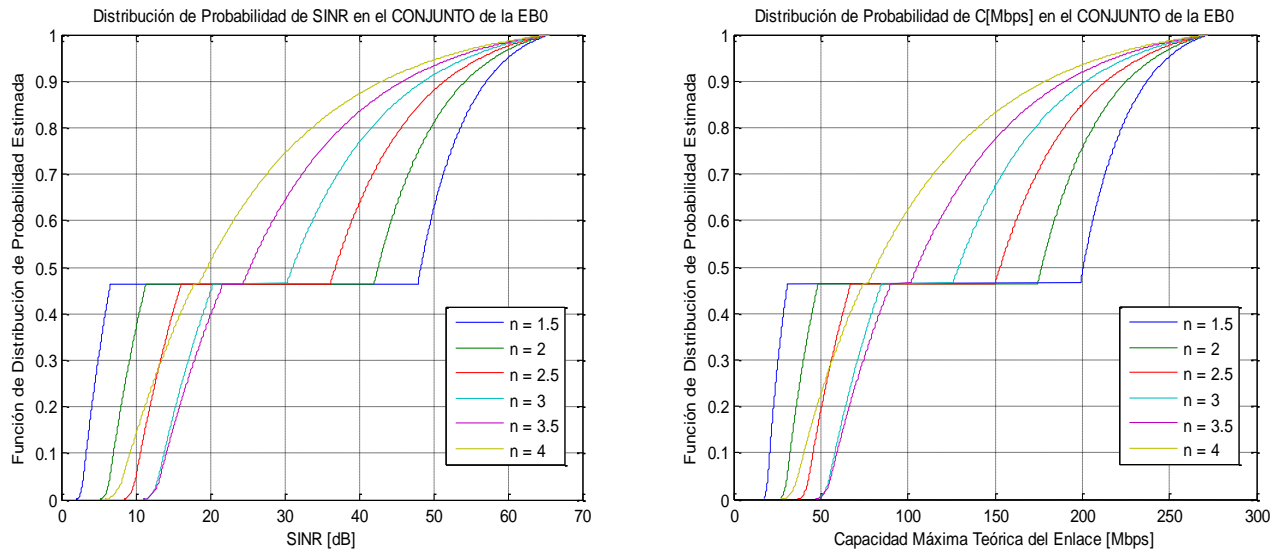


Figura de Evaluación 155: Curvas de $CDF(SINR[db])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

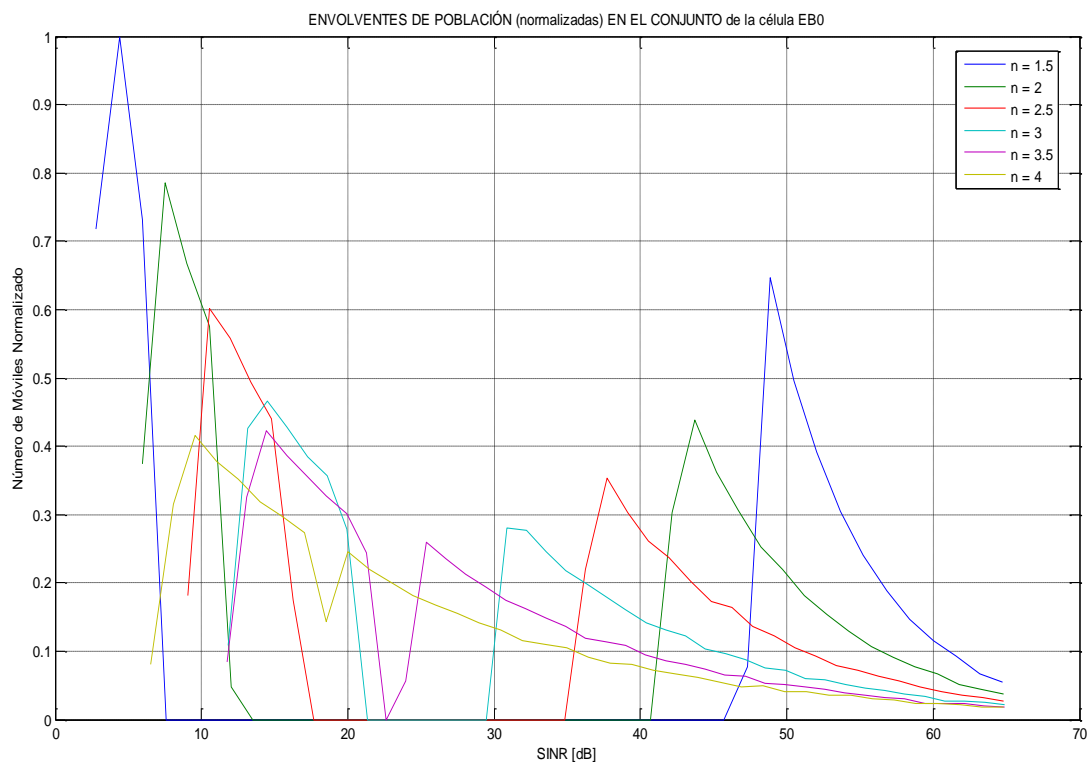


Figura de Evaluación 156: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 7+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	24.22	38.00	53.32	67.66	70.36	52.14
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	200.68	176.84	153.00	129.16	105.35	81.65
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	217.49	199.24	181.00	162.75	144.51	126.28
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	237.36	225.74	214.12	202.50	190.88	179.26
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.54	0.54	0.81	1.00	1.00	0.78
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.38
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.51	0.24	0.15	0.11	0.08	0.07
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.35	7.02	10.63	13.81	14.13	9.24
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	48.33	42.59	36.84	31.10	25.36	19.62
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.54	0.63	0.95	1.00	1.00	0.86

Tabla de Evaluación 93:
Reutilización FFR 7+1 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

d) Reutilización FFR 3+3

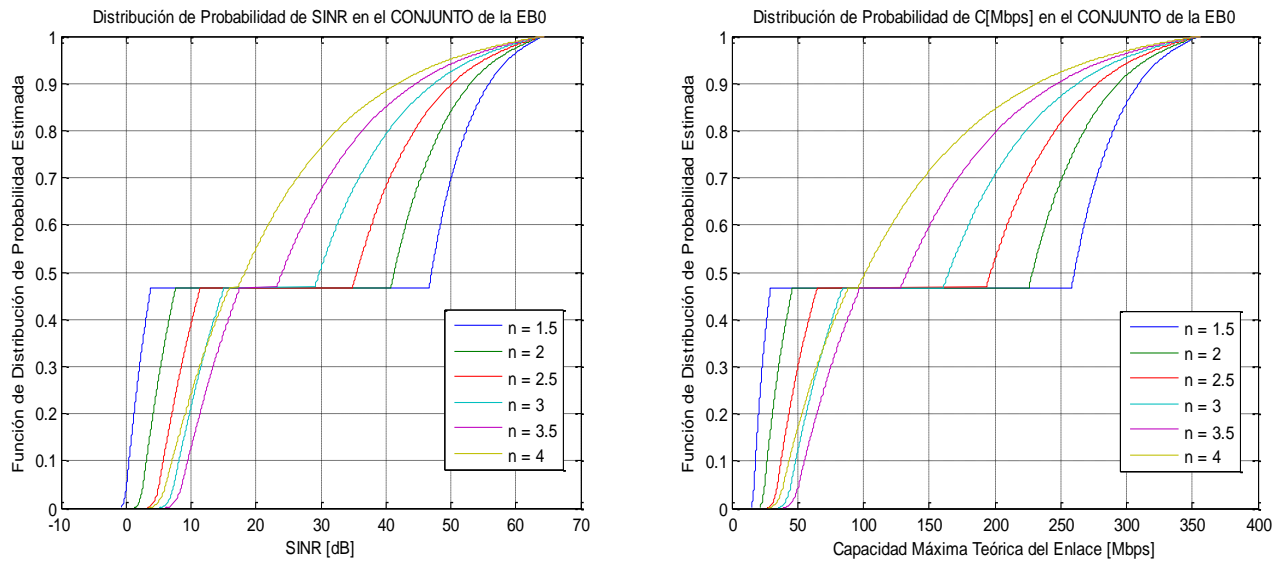


Figura de Evaluación 157: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 3+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

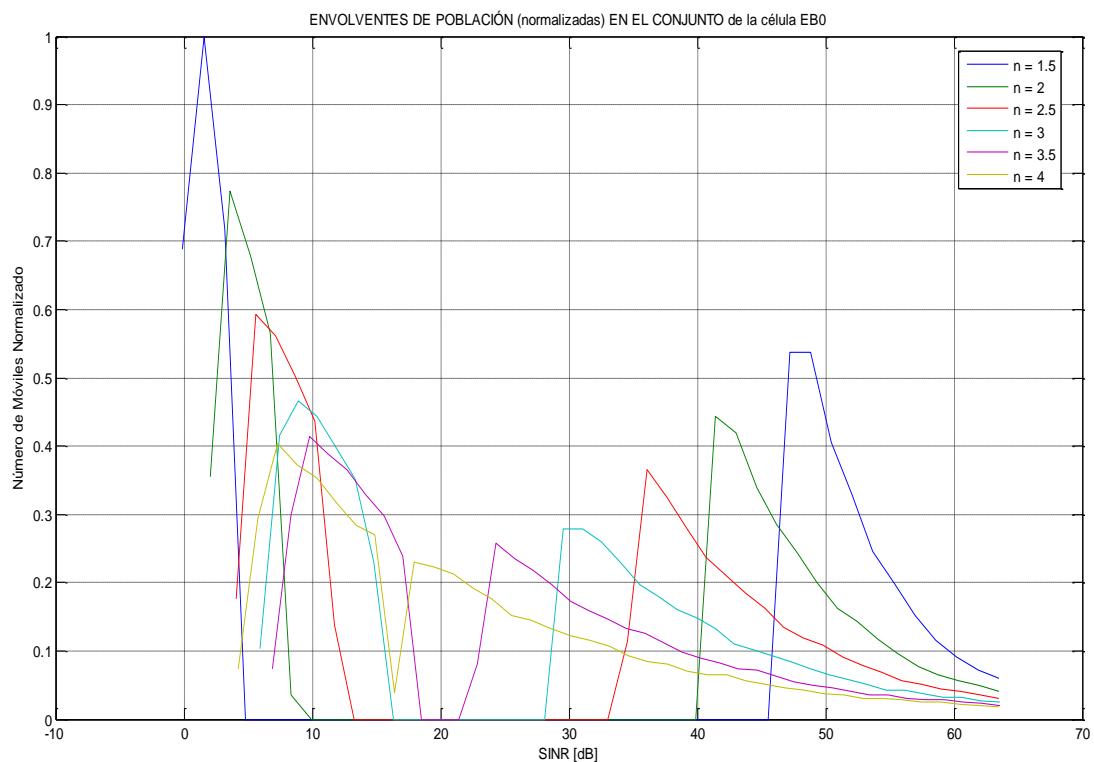


Figura de Evaluación 158: Comparativa de Envolventes de Población de SINR
(Reutilización FFR 3+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	21.67	33.19	46.75	60.88	69.85	58.61
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	260.54	228.71	196.88	165.06	133.30	101.72
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	283.15	258.85	234.55	210.26	185.96	161.68
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	309.71	294.26	278.82	263.37	247.93	232.48
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.70	0.88	0.96	0.83
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.51
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.47	0.29	0.21	0.16
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	0.47	3.13	5.74	8.16	9.52	7.09
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	47.06	41.31	35.56	29.81	24.06	18.31
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.53	0.53	0.61	0.79	0.87	0.76

Tabla de Evaluación 94:

Reutilización FFR 3+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

e) Reutilización FFR 7+3

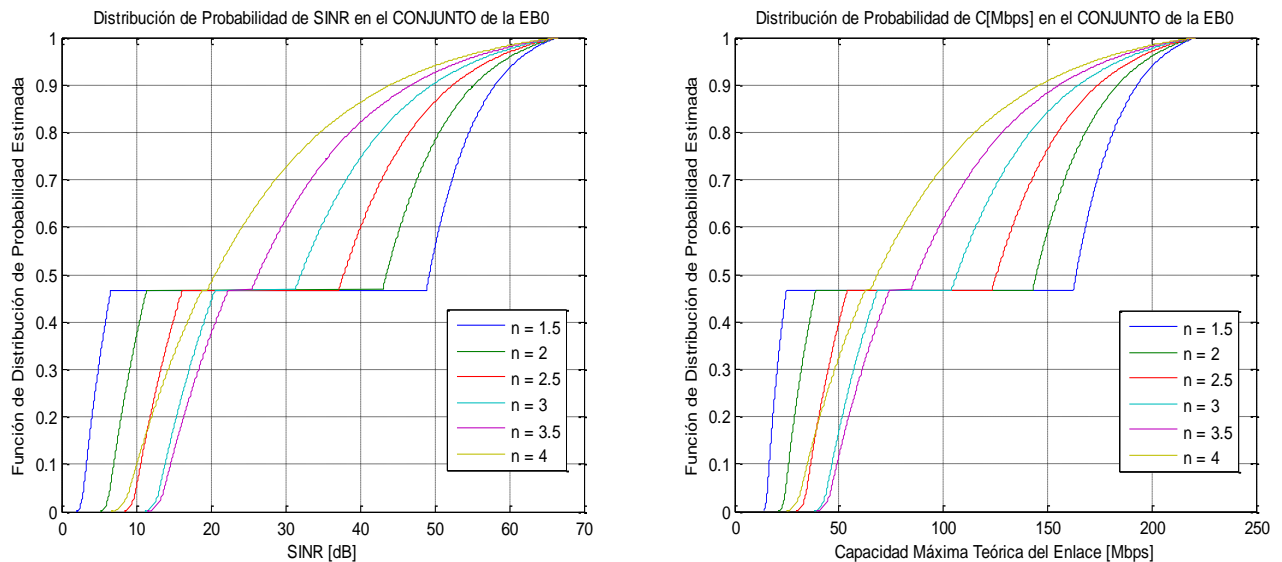


Figura de Evaluación 159: Curvas de $CDF(SINR[dB])$ y $CDF(R[Mbps])$
(Reutilización FFR 7+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

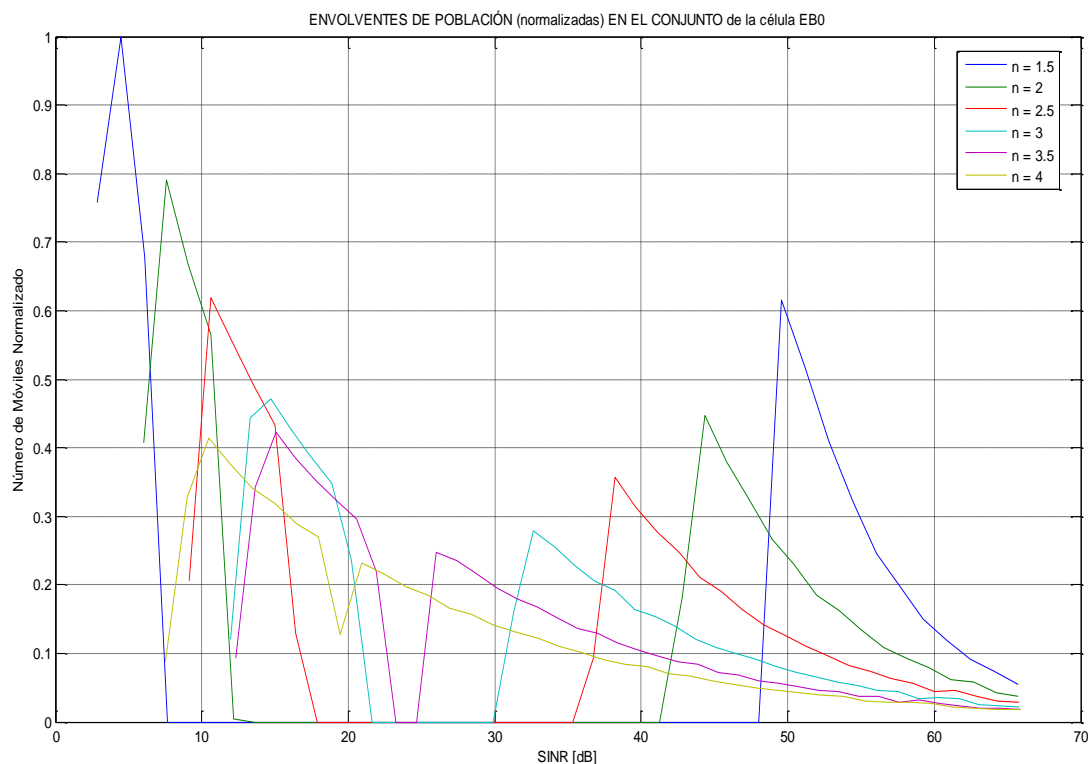


Figura de Evaluación 160: Comparativa de Envolventes de Población de SINR (Reutilización FFR 7+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km).

CÉLULA COMPLETA						
n	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	19.32	30.32	42.57	54.30	57.88	44.36
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	163.73	144.65	125.56	106.48	87.42	68.43
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	177.36	162.81	148.26	133.72	119.18	104.64
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	193.07	183.77	174.46	165.15	155.84	146.54
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.60	0.83	0.88	0.67
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.53	0.53	0.53	0.53	0.38	0.27
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	3.34	7.00	10.62	13.88	14.63	10.10
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	49.29	43.54	37.80	32.05	26.31	20.56
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.53	0.63	0.95	1.00	1.00	0.91

Tabla de Evaluación 95:
Reutilización FFR 7+3 con Distribución de Población Uniforme en Distancia y $r=3$ Km.

3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tomando de la Tabla de Evaluación de cada escenario, obtenida bajo unas determinadas condiciones, la columna del coeficiente de pérdidas seleccionado en cada momento, se compondrá una nueva tabla, denominada *Tabla Comparativa*, con la precisión suficiente, según se ha comentado anteriormente, para computar los diferentes criterios de valoración considerados.

Además de los doce criterios puramente estadísticos que integran las Tablas de Evaluación, a la Tabla Comparativa se le añadirá un último criterio determinista de valoración: el número de radiocanales por célula.

La confección de la Tabla anterior tiene como objetivo el poder facilitar la comparación, para cada uno de los criterios de valoración, del valor alcanzado por cada escenario con el obtenido por los demás escenarios evaluados, a fin de asignar una puntuación a cada uno de ellos en el criterio de calidad correspondiente. El modo en que esto se lleva a cabo consiste, simplemente, en normalizar el valor alcanzado por cada escenario, en un determinado criterio, respecto del máximo valor alcanzado por el conjunto de ellos, de modo que la puntuación máxima en cualquiera de los criterios de la *Tabla de Puntuación* resultante, sea de un punto.

Sumando las puntuaciones obtenidas en cada columna de la Tabla de Puntuación, se obtiene la puntuación total de cada escenario en las condiciones de trabajo establecidas. De este modo, se lleva a cabo una valoración global del conjunto de los criterios de calidad lo más aséptica posible, sin los subjetivismos que conlleva cualquier criterio de ponderación que pudiera aplicarse a los mismos.

Por razones de coherencia en el formato numérico, se emplea redondeo al segundo decimal, de nuevo, lo que conlleva errores adicionales que, en este caso, no siempre resultarán despreciables.

Por consiguiente, se comprende que, más allá del rigor en la caracterización de los escenarios, una de las razones de haberse empleado un número tan elevado de criterios de valoración (trece), sea el poder compensar el impacto de los redondeos, especialmente cuando el valor alcanzado por la totalidad de los escenarios en un determinado criterio resulta muy pequeño o insignificante, del orden de alguna centésima. En estos casos, la granularidad del redondeo³⁵ puede dar lugar a errores considerables, favoreciendo la cuantificación de algunos valores y penalizando la de otros. El caso más extremo consistiría en que el escenario que alcanzase el valor más alto, en un determinado criterio, recibiera la máxima puntuación (un punto), mientras que los otros recibieran cero puntos, cuando el valor obtenido por todos ellos podría ser despreciado.

Por último, se indica entre corchetes aquéllos escenarios que, en un determinado criterio, o en el cómputo global de la Tabla Comparativa, alcanzan un valor con una desviación menor o igual al

³⁵ Cualquier valor menor que 0.005 se redondea a cero, mientras que dicho valor se redondea a una centésima.

1% respecto del valor máximo obtenido por el conjunto de ellos. Este mismo criterio se mantiene en la Tabla de Puntuación.

3.5.1. Primera Aproximación (Exhaustiva)

3.5.1.1. Asignación de Máximo Ancho de Banda al Radiocanal

3.5.1.1.1. Población Uniformemente Distribuida

a) Caso: $n=3$

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		88.48	101.50	68.68	86.48	82.91	44.74	72.55	54.24	51.46	48.43	B
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		148.94	130.42	81.24	107.30	105.24	74.78	86.90	61.74	65.72	55.00	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		276.90	180.83	102.71	146.82	144.05	140.18	106.88	71.97	91.08	63.12	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		467.11	246.65	131.14	205.52	194.75	236.36	123.94	80.45	124.30	74.41	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	1.00	0.83	0.78	0.70	[A],B,C,D,E,G
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.69	0.77	0.27	0.57	0.55	0.38	0.33	0.02	0.19	0.03	B
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0.37	0.19	0.01	0.11	0.09	0.14	0.02	0	0.01	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-2.33	7.30	13.09	5.85	8.14	-2.28	7.12	9.39	7.44	13.21	[C],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		2.57	11.48	17.03	9.20	12.43	2.60	10.05	14.72	11.58	16.46	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.18	0.62	1.00	0.43	0.70	0.18	0.51	0.88	0.63	1.00	C,J
Nº de radiocanales/célula		1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	D,E

Tabla Comparativa 1: Población Uniformemente Distribuida con $r=3 \text{ Km}$ y $n=3$.

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		0.87	1.00	0.68	0.85	0.82	0.44	0.71	0.53	0.51	0.48	B
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		1.00	0.88	0.55	0.72	0.71	0.50	0.58	0.41	0.44	0.37	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		1.00	0.65	0.37	0.53	0.52	0.51	0.39	0.26	0.33	0.23	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		1.00	0.53	0.28	0.44	0.42	0.51	0.27	0.17	0.27	0.16	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	1.00	0.83	0.78	0.70	[A],B,C,D,E,G
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.90	1.00	0.35	0.74	0.71	0.49	0.43	0.03	0.25	0.04	B
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		1.00	0.51	0.03	0.30	0.24	0.38	0.05	0	0.03	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.18	0.55	0.99	0.44	0.62	-0.17	0.54	0.71	0.56	1.00	[C],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		0.15	0.67	1.00	0.54	0.73	0.15	0.59	0.86	0.68	0.97	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.18	0.62	1.00	0.43	0.70	0.18	0.51	0.88	0.63	1.00	C,J
Nº de radiocanales/célula		0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	D,E
PUNTUACIÓN		8.93	9.74	8.58	8.99	9.47	6.04	7.74	7.35	7.15	7.62	B

Tabla de Puntuación 1: Población Uniformemente Distribuida con $r=3 \text{ Km}$ y $n=3$.

Comentarios:

- Orden de Puntuación: $B > E > D > A > C > G > J > H > I > F$.
- El escenario E presenta muy buenas prestaciones, mostrándose como la mejor alternativa al escenario B , que obtiene la mayor puntuación.

- Los escenarios FFR son los que menos puntuación obtienen, siendo el G el de mayor puntuación de ellos.
- Se significa que, si se ponderasen los criterios de la tabla, dando mayor importancia a aquellos vinculados a la disponibilidad y calidad del enlace, el escenario E sería la mejor opción.

b) Caso: $n=2$

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		51.32	56.57	38.40	46.88	45.61	25.72	38.81	29.31	28.30	26.88	B
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		74.96	71.83	45.83	57.40	57.51	37.36	46.09	33.98	35.78	30.56	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		128.26	100.56	59.09	78.76	79.84	64.45	56.74	40.01	50.12	35.46	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		222.00	141.04	77.36	113.23	111.19	111.85	66.29	45.20	70.52	42.06	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.77	0.91	0.40	0.66	0.64	0.35	0.39	0.02	0.25	0.06	B
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.35	0.25	0.03	0.14	0.14	0.12	0.02	0.00	0.03	0.00	A
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0.12	0.03	0	0.01	0.01	0.02	0.00	0	0	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-4.65	2.66	6.55	1.43	3.17	-4.65	2.02	2.61	2.66	6.56	[C],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		-1.67	5.38	9.16	3.61	5.94	-1.68	4.13	7.47	5.35	8.64	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.04	0.18	0.41	0.09	0.20	0.04	0.04	0.15	0.18	0.29	C
Nº de radiocanales/célula		1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	D,E

Tabla Comparativa 2: Población Uniformemente Distribuida con $r=3 \text{ Km}$ y $n=2$.

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		0.91	1.00	0.68	0.83	0.81	0.45	0.69	0.52	0.50	0.48	B
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		1.00	0.96	0.61	0.77	0.77	0.50	0.61	0.45	0.48	0.41	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		1.00	0.78	0.46	0.61	0.62	0.50	0.44	0.31	0.39	0.28	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		1.00	0.64	0.35	0.51	0.50	0.50	0.30	0.20	0.32	0.19	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.85	1.00	0.44	0.73	0.70	0.38	0.43	0.02	0.27	0.07	B
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		1.00	0.71	0.09	0.40	0.40	0.34	0.06	0	0.09	0	A
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		1.00	0.25	0	0.08	0.08	0.17	0	0	0	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.71	0.41	1.00	0.22	0.48	-0.71	0.31	0.40	0.41	1.00	[C],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		-0.18	0.59	1.00	0.39	0.65	-0.18	0.45	0.82	0.58	0.94	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.10	0.44	1.00	0.22	0.49	0.10	0.10	0.37	0.44	0.71	C
Nº de radiocanales/célula		0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	D,E
PUNTUACIÓN		7.65	9.11	7.96	7.76	8.50	4.07	6.06	5.76	6.15	6.75	B

Tabla de Puntuación 2: Población Uniformemente Distribuida con $r=3 \text{ Km}$ y $n=2$.Comentarios:

- Orden de Puntuación: $B > E > C > D > A > J > I > G > H > F$.
- Puede comprobarse que el orden de puntuación varía considerablemente respecto del caso anterior ($n=3$), manteniéndose los dos primeros puestos.

- Los escenarios FFR son los que menos puntuación obtienen, siendo, en este caso, el *J* el de mayor puntuación de ellos.
- El escenario *E* sigue siendo la mejor alternativa al escenario *B*, que ocupa la primera posición, si bien se acentúa la diferencia entre ambos.

3.5.1.1.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia

a) Caso: $n=3$

CRITERIO	ESCAPARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		126.62	120.78	77.09	99.82	97.43	64.10	78.77	54.49	60.93	52.95	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		265.06	175.72	100.96	143.42	139.71	133.85	100.63	65.61	88.42	61.80	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		530.71	266.44	139.92	222.87	209.27	266.69	133.09	79.48	134.25	80.94	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		846.17	374.35	184.81	325.01	288.88	426.79	212.73	106.65	187.32	112.94	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	0.82	0.88	0.83	A,B,C,D,E,G
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.82	0.87	0.51	0.75	0.73	0.60	0.51	0.12	0.42	0.15	B
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0.60	0.42	0.07	0.31	0.27	0.35	0.12	0	0.08	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-1.44	8.05	13.77	6.56	8.89	-1.39	7.48	9.21	8.17	13.91	[C],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		7.23	15.76	21.24	12.73	16.73	7.32	11.84	15.68	15.86	18.54	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.40	0.78	1.00	0.65	0.83	0.41	0.66	0.87	0.79	1.00	C,J
Nº de radiocanales/célula		1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	D,E

Tabla Comparativa 3: Distribución de Población Uniforme en Distancia con $r=3$ Km y $n=3$.

CRITERIO	ESCAPARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		1.00	0.95	0.61	0.79	0.77	0.51	0.62	0.43	0.48	0.42	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		1.00	0.66	0.38	0.54	0.53	0.50	0.38	0.25	0.33	0.23	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		1.00	0.50	0.26	0.42	0.39	0.50	0.25	0.15	0.25	0.15	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		1.00	0.44	0.22	0.38	0.34	0.50	0.25	0.13	0.22	0.13	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	0.82	0.88	0.83	A,B,C,D,E,G
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.94	1.00	0.59	0.86	0.84	0.69	0.59	0.14	0.48	0.17	B
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		1.00	0.70	0.12	0.52	0.45	0.58	0.20	0	0.13	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.10	0.58	0.99	0.47	0.64	-0.10	0.54	0.66	0.59	1.00	[C],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		0.34	0.74	1.00	0.60	0.79	0.34	0.56	0.74	0.75	0.87	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.40	0.78	1.00	0.65	0.83	0.41	0.66	0.87	0.79	1.00	C,J
Nº de radiocanales/célula		0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	D,E
PUNTUACIÓN		9.73	9.68	8.50	9.23	9.58	7.26	7.72	6.86	7.57	7.47	A, [B]

Tabla de Puntuación 3: Distribución de Población Uniforme en Distancia con $r=3$ Km y $n=3$.

Comentarios:

- Orden de Puntuación: $A > B > E > D > C > G > I > J > F > H$.
- Se observa que cambia el orden de puntuación de los escenarios respecto al caso de población uniformemente distribuida.

- Los escenarios A y B obtienen, respectivamente, la mejor puntuación, con menos de un 1% de diferencia de puntuación entre ambos. No obstante, la puntuación del **escenario B** varía menos del 1% respecto de la obtenida en el caso de distribución de población uniformemente distribuida, es decir, **se viene a comportar de forma similar en ambos casos**.
- Los escenarios FFR son los que menos puntuación obtienen, siendo el G el de mayor puntuación, que muestra un comportamiento similar que en el caso de población uniformemente distribuida.

3.5.1.1.3. Aplicación a Microcélula

a) Caso: $n=4$

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		131.31	158.65	105.27	136.00	127.67	65.19	113.85	83.87	79.61	73.72	B
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		243.04	200.95	122.54	166.50	160.42	121.24	135.52	94.30	100.84	82.61	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		455.25	271.00	151.76	222.47	214.55	228.07	164.33	108.29	135.80	93.75	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		728.78	358.89	189.75	299.63	281.45	365.52	187.98	119.98	180.23	108.17	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	Todos menos F
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.86	1.00	0.85	1.00	0.97	0.58	0.94	0.39	0.51	0.14	B,D
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0.58	0.50	0.08	0.33	0.30	0.30	0.08	0.00	0.07	0.00	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.63	12.34	20.47	10.32	13.28	-0.66	12.19	15.68	12.39	20.48	[C],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		6.43	18.08	25.81	14.90	19.27	6.40	16.22	22.69	18.15	24.85	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.36	0.99	1.00	0.92	1.00	0.36	0.99	1.00	1.00	1.00	[B],C,E,[G],H,I,J
Nº de radiocanales/célula		1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	D,E

Tabla Comparativa 4: Población Uniformemente Distribuida con $r=200$ m y $n=4$.

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		0.83	1.00	0.66	0.86	0.80	0.41	0.72	0.53	0.50	0.46	B
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		1.00	0.83	0.50	0.69	0.66	0.50	0.56	0.39	0.41	0.34	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		1.00	0.60	0.33	0.49	0.47	0.50	0.36	0.24	0.30	0.21	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		1.00	0.49	0.26	0.41	0.39	0.50	0.26	0.16	0.25	0.15	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	Todos menos F
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.86	1.00	0.85	1.00	0.97	0.58	0.94	0.39	0.51	0.14	B,D
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		1.00	0.86	0.14	0.57	0.52	0.52	0.14	0	0.12	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.03	0.60	1.00	0.50	0.65	-0.03	0.60	0.77	0.60	1.00	[C],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		0.25	0.70	1.00	0.58	0.75	0.25	0.63	0.88	0.70	0.96	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.36	0.99	1.00	0.92	1.00	0.36	0.99	1.00	1.00	1.00	[B],C,E,[G],H,I,J
Nº de radiocanales/célula		0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	D,E
PUNTUACIÓN		9.46	10.40	9.07	10.02	10.21	6.96	8.87	8.03	8.06	7.93	B

Tabla de Puntuación 4: Población Uniformemente Distribuida con $r=200$ m y $n=4$.

Comentarios:

- Orden de Puntuación: $B > E > D > A > C > G > I > H > J > F$.
- Los escenarios FFR son los que menos puntuación obtienen, siendo el G el de mayor puntuación.
- Los dos escenarios con segmentación de 120° (D y E) proporcionan un buen comportamiento general.

b) Caso: $n=3.5$

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
C_x / P_r ($C \leq C_x$)=0.25		111.04	131.52	88.44	112.25	106.46	55.17	93.70	69.99	65.92	61.86	B
C_x / P_r ($C \leq C_x$)=0.50		196.53	167.34	103.41	137.98	134.24	98.04	111.86	79.08	83.88	69.47	A
C_x / P_r ($C \leq C_x$)=0.75		367.28	227.63	128.85	186.03	180.82	183.93	136.39	91.21	113.95	79.15	A
C_x / P_r ($C \leq C_x$)=0.90		599.05	304.07	162.03	253.05	238.92	300.40	156.87	101.34	152.58	91.55	A
P_r ($C > 10$ Mbps)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
P_r ($C > 50$ Mbps)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	1.00	0.92	0.99	1.00	A,B,C,D,E,G,[I],J
P_r ($C > 100$ Mbps)		0.80	0.98	0.55	0.88	0.82	0.49	0.65	0.12	0.35	0.07	B
P_r ($C > 200$ Mbps)		0.49	0.34	0.03	0.21	0.18	0.22	0.05	0	0.03	0	A
$SINR_x / P_r$ ($SINR \leq SINR_x$)=0.1		-1.34	10.01	17.11	8.25	10.90	-1.37	9.78	12.56	10.04	17.09	C,[J]
$SINR_x / P_r$ ($SINR \leq SINR_x$)=0.5		4.63	14.98	21.76	12.21	16.06	4.61	13.27	18.99	15.02	20.88	C
P_r ($SINR > 0$ dB)		0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
P_r ($SINR > 10$ dB)		0.27	0.90	1.00	0.71	0.96	0.27	0.87	0.97	0.90	1.00	C,J
Nº de radiocanales/célula		1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	D,E

Tabla Comparativa 5: Población Uniformemente Distribuida con $r=200$ m y $n=3.5$.

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
C_x / P_r ($C \leq C_x$)=0.25		0.84	1.00	0.67	0.85	0.81	0.42	0.71	0.53	0.50	0.47	B
C_x / P_r ($C \leq C_x$)=0.50		1.00	0.85	0.53	0.70	0.68	0.50	0.57	0.40	0.43	0.35	A
C_x / P_r ($C \leq C_x$)=0.75		1.00	0.62	0.35	0.51	0.49	0.50	0.37	0.25	0.31	0.22	A
C_x / P_r ($C \leq C_x$)=0.90		1.00	0.51	0.27	0.42	0.40	0.50	0.26	0.17	0.25	0.15	A
P_r ($C > 10$ Mbps)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
P_r ($C > 50$ Mbps)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	1.00	0.92	0.99	1.00	A,B,C,D,E,G,[I],J
P_r ($C > 100$ Mbps)		0.82	1.00	0.56	0.90	0.84	0.50	0.66	0.12	0.36	0.07	B
P_r ($C > 200$ Mbps)		1.00	0.69	0.06	0.43	0.37	0.45	0.10	0	0.06	0	A
$SINR_x / P_r$ ($SINR \leq SINR_x$)=0.1		-0.08	0.59	1.00	0.48	0.64	-0.08	0.57	0.73	0.59	1.00	C,[J]
$SINR_x / P_r$ ($SINR \leq SINR_x$)=0.5		0.21	0.69	1.00	0.56	0.74	0.21	0.61	0.87	0.69	0.96	C
P_r ($SINR > 0$ dB)		0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
P_r ($SINR > 10$ dB)		0.27	0.90	1.00	0.71	0.96	0.27	0.87	0.97	0.90	1.00	C,J
Nº de radiocanales/célula		0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	D,E
PUNTUACIÓN		9.19	10.18	8.77	9.56	9.93	6.52	8.39	7.63	7.75	7.89	B

Tabla de Puntuación 5: Población Uniformemente Distribuida con $r=200$ m y $n=3.5$.**Comentarios:**

- Orden de Puntuación: $B > E > D > A > C > G > J > I > H > F$.
- Se observa que cambia el orden de puntuación respecto del caso anterior, perdiendo dos posiciones el escenario J .

- Los escenarios FFR son los que menos puntuación obtienen, siendo el *G* el de mayor puntuación.
- Los dos escenarios con segmentación de 120° (*D* y *E*) proporcionan un buen comportamiento general, si bien, se acentúa su diferencia respecto del escenario *B*, en comparación con el *n* anterior.

3.5.1.1.4. Variación del Comportamiento con el Radio de Cobertura

En este apartado se va a estudiar la influencia del tamaño de la célula en el comportamiento de los escenarios, estableciendo una comparativa de resultados entre dos células, de radios de cobertura $r=3$ Km y $r=200$ m.

De este modo, se incluye la siguiente tabla para su comparación con la del apartado 3.5.1.1.1, a fin de verificar que el tamaño de la célula condiciona el comportamiento de los escenarios.

a) Caso: $n=3$

ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
CRITERIO											
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	90.47	104.72	71.23	88.82	85.14	44.96	73.92	55.87	52.48	49.81	B
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	151.65	133.79	83.81	109.60	107.77	75.65	88.45	63.55	67.05	56.19	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	280.56	183.98	105.39	149.35	146.58	140.49	108.53	73.76	92.09	64.37	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	468.35	248.76	133.72	205.89	195.84	234.88	125.48	82.35	124.83	74.89	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	0.84	0.80	0.74	[A],B,C,D,E,G
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.70	0.80	0.30	0.60	0.58	0.38	0.34	0.02	0.20	0.03	B
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	0.38	0.20	0.01	0.11	0.09	0.14	0.02	0	0.01	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-2.21	7.61	13.63	6.08	8.41	-2.24	7.28	9.34	7.63	13.61	C,[J]
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	2.70	11.80	17.59	9.43	12.75	2.68	10.26	15.18	11.84	16.83	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.18	0.65	1.00	0.45	0.73	0.18	0.53	0.88	0.65	1.00	C,J
Nº de radiocanales/célula	1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	D,E

Tabla Comparativa 6: Población Uniformemente Distribuida con $r=200$ m y $n=3$.

ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
CRITERIO											
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$	0.86	1.00	0.68	0.85	0.81	0.43	0.71	0.53	0.50	0.48	B
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$	1.00	0.88	0.55	0.72	0.71	0.50	0.58	0.42	0.44	0.37	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$	1.00	0.66	0.38	0.53	0.52	0.50	0.39	0.26	0.33	0.23	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$	1.00	0.53	0.29	0.44	0.42	0.50	0.27	0.18	0.27	0.16	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	0.84	0.80	0.74	[A],B,C,D,E,G
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$	0.87	1.00	0.37	0.75	0.72	0.47	0.42	0.02	0.25	0.04	B
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$	1.00	0.53	0.03	0.29	0.24	0.37	0.05	0	0.03	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$	-0.16	0.56	1.00	0.45	0.62	-0.16	0.53	0.69	0.56	1.00	C,[J]
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$	0.15	0.67	1.00	0.54	0.72	0.15	0.58	0.86	0.67	0.96	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$	0.18	0.65	1.00	0.45	0.73	0.18	0.53	0.88	0.65	1.00	C,J
Nº de radiocanales/célula	0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	D,E
PUNTUACIÓN	8.92	9.81	8.63	9.02	9.49	6.01	7.73	7.35	7.17	7.65	B

Tabla de Puntuación 6: Población Uniformemente Distribuida con $r=200$ m y $n=3$.

Comentarios:

- Orden de Puntuación: $B > E > D > A > C > G > J > H > I > F$.
- Se observa que, respecto del caso de $n=4$, los escenarios I y J intercambian su posición en la secuencia del orden de puntuación. Se comprueba así, una vez más, que las prestaciones de un escenario varían en función del coeficiente de pérdidas, en este caso, entre emplear $n=3$ y $n=4$.
- Los dos escenarios con segmentación de 120° (D y E) proporcionan un buen comportamiento general, si bien, se acentúa aún más su diferencia respecto del escenario B , en comparación con los n anteriores. Por su parte, los escenarios FFR son los que menos puntuación obtienen, siendo el G el de mayor puntuación.
- Sin embargo, se comprueba que NO varía el orden de puntuación de los escenarios respecto del caso de $r=3$ Km (apartado 3.5.1.1.1). No obstante, a fin de realizar un análisis riguroso, se va a comprobar si, al menos, varía la desviación de puntuación de los escenarios con respecto a la puntuación máxima, entre uno y otro caso.

RADIO DE COBERTURA DE LA CÉLULA		
200 metros		
ESCENARIO	PUNTUACIÓN	DESVIACIÓN [%]
A	8.92	9.07
B	9.81	0
C	8.63	12.03
D	9.02	8.05
E	9.49	3.26
F	6.01	38.74
G	7.73	21.20
H	7.35	25.08
I	7.17	26.91
J	7.65	22.02

RADIO DE COBERTURA DE LA CÉLULA		
3 Kilómetros		
ESCENARIO	PUNTUACIÓN	DESVIACIÓN [%]
A	8.93	8.32
B	9.74	0
C	8.58	11.91
D	8.99	7.70
E	9.47	2.77
F	6.04	37.99
G	7.74	20.53
H	7.35	24.54
I	7.15	26.59
J	7.62	21.77

Tablas 4 y 5:

Porcentaje de desviación en la puntuación de los escenarios, respecto de la máxima, para $r = 200$ m y $r = 3$ Km.

A la vista de las tablas anteriores, se comprueba que, si bien hay diferencias en la desviación de puntuación respecto del máximo correspondiente, entre una y otra tabla, éstas no son sustanciales.

Así mismo, pueden evidenciarse en las Tablas Resumen, de ambos casos, diferencias poco significativas en los valores obtenidos para cada uno de los criterios que, en ningún caso, alteran que el escenario con mayor puntuación para cada criterio sea el mismo en ambos casos.

Sin embargo, el redondeo aplicado y la aleatoriedad inherente a cada nueva distribución de población generada mediante simulación hacen, cuanto menos, cuestionar si realmente existen tales diferencias. En este sentido, la comparativa rigurosa de gráficas permite dilucidar que,

efectivamente, hay diferencias no achacables a las consideraciones anteriores, si bien, poco relevantes.

Este resultado tan similar entre ambos casos, con un radio de cobertura que difiere en algo más de un orden de magnitud, puede resultar paradójico, en primera instancia, si se atiende a la evolución de las pérdidas del trayecto en función de la distancia, analizada con anterioridad.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta, que los criterios de valoración (con la salvedad del número de radiocanales por célula) no están basados en magnitudes absolutas, como puede ser la potencia de señal recibida o, en su caso, la potencia interferente.

Los criterios considerados se basan, fundamentalmente, en la SINR, que es una relación entre magnitudes. En otras palabras, la variación de la distancia afecta en el mismo sentido tanto a la potencia de señal como a la interferente, lo que hace que, en este caso ($n=3$), el comportamiento de los escenarios apenas se vea influenciado por el tamaño de la célula (3Km/200 m).

Lógicamente, habrá que atender a consideraciones de Mínima Señal Detectable (MSD) en función del radio de cobertura de la célula, a la hora de establecer el balance de potencia del enlace, debiéndose ajustar la potencia de transmisión de los terminales en cada caso. Esto puede hacer que una determinada PIRE no resulte aplicable con un tamaño de célula dado y haya que conciliar ambos aspectos.

b) Caso: $n=4$

A fin de demostrar fehacientemente que la longitud del radio de cobertura de la célula influye, en mayor o menor medida, en el comportamiento de los escenarios, se va a repetir a continuación la misma comparativa para $n=4$. Para ello, previamente hay que computar la Tabla Resumen de $n=4$ para el caso de célula con radio de cobertura de 3 Km y distribución de población uniformemente distribuida, no incluida en el apartado 3.5.1.1.1.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
CRITERIO												
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		78.90	74.38	48.34	70.66	64.18	48.55	61.06	43.03	46.98	37.03	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		151.67	108.04	63.93	101.77	90.30	91.07	87.10	53.62	64.71	48.01	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		319.40	171.54	91.68	160.96	139.04	185.94	113.76	66.89	99.06	64.72	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		574.25	257.74	129.23	245.64	204.70	318.49	169.63	87.65	142.88	90.71	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.94	0.98	0.72	0.98	0.94	0.74	0.91	0.59	0.70	0.47	B,D
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.66	0.55	0.20	0.51	0.43	0.46	0.37	0.07	0.25	0.07	A
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0.40	0.18	0.02	0.16	0.11	0.23	0.07	0.00	0.03	0.00	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-3.36	4.08	8.19	3.73	5.30	-2.28	4.84	8.37	6.19	9.24	J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		2.70	9.27	13.27	8.63	10.50	4.04	10.08	12.68	11.38	14.29	J
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.66	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.23	0.46	0.73	0.42	0.53	0.27	0.50	0.75	0.59	0.82	J
Nº de radiocanales/célula		1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	D,E

Tabla Comparativa 7: Población Uniformemente Distribuida con $r=3\text{Km}$ y $n=4$.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
CRITERIO												
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		1.00	0.94	0.61	0.90	0.81	0.62	0.77	0.55	0.60	0.47	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		1.00	0.71	0.42	0.67	0.60	0.60	0.57	0.35	0.43	0.32	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		1.00	0.54	0.29	0.50	0.44	0.58	0.36	0.21	0.31	0.20	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		1.00	0.45	0.23	0.43	0.36	0.55	0.30	0.15	0.25	0.16	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.96	1.00	0.73	1.00	0.96	0.76	0.93	0.60	0.71	0.48	B,D
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		1.00	0.83	0.30	0.77	0.65	0.70	0.56	0.11	0.38	0.11	A
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		1.00	0.45	0.05	0.40	0.27	0.57	0.18	0	0.07	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.36	0.44	0.89	0.40	0.57	-0.25	0.52	0.91	0.67	1.00	J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		0.19	0.65	0.93	0.60	0.73	0.28	0.71	0.89	0.80	1.00	J
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.66	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.28	0.56	0.89	0.51	0.65	0.33	0.61	0.91	0.72	1.00	J
Nº de radiocanales/célula		0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	D,E
PUNTUACIÓN		9.06	8.90	7.67	9.18	9.04	7.15	8.18	7.35	7.61	7.41	D

Tabla de Puntuación 7: Población Uniformemente Distribuida con $r=3\text{Km}$ y $n=4$.

Comentarios:

- Orden de Puntuación: $D > A \approx E > B > G > C > I > J > H > F$.
- Se observa que el orden de puntuación resultante ahora para la célula de radio de cobertura 3 Km es completamente diferente al resultante para la de radio de cobertura 200 m, quedando inequívocamente demostrado que el comportamiento de los escenarios depende del radio de cobertura de la célula.
- De los escenarios FFR, nuevamente el escenario *G* es el que obtiene mayor puntuación, quedando en esta ocasión, marcadamente, por delante del escenario *C*.
- Siendo $n=4$, se observa que, con radio de cobertura de la célula de 3 Km, se acentúa ese buen comportamiento general de los escenarios con segmentación sectorial de 120° (*D* y *E*), apreciado en el caso de radio de cobertura de 200 m.

3.5.1.2. Asignación de Ancho de Banda Fijo al Radiocanal

3.5.1.2.1. Población Uniformemente Distribuida

a) Caso: $n=3$

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		4.51	15.68	24.60	13.27	16.94	4.51	14.76	22.07	15.64	24.57	C,[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		7.60	20.04	29.02	16.38	21.46	7.58	17.64	25.13	20.01	27.82	C
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		14.12	27.56	36.56	22.35	29.17	14.06	21.71	29.18	27.55	31.89	C
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		23.66	37.54	46.43	31.01	39.20	23.62	25.14	32.61	37.59	37.52	C
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.01	0.03	0.07	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	C
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NINGUNO
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NINGUNO
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-2.23	7.57	13.44	6.06	8.36	-2.22	7.26	9.37	7.56	13.41	C,[J]
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		2.72	11.79	17.39	9.39	12.69	2.70	10.23	14.99	11.76	16.65	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.18	0.64	1.00	0.45	0.73	0.18	0.53	0.88	0.64	1.00	C,J
Nº de radiocanales/célula		20	6.67	2.86	20	15	20	10	5	6.67	4	A,D,F

Tabla Comparativa 8: Población Uniformemente Distribuida con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		0.18	0.64	1.00	0.54	0.69	0.18	0.60	0.90	0.64	1.00	C,[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		0.26	0.69	1.00	0.56	0.74	0.26	0.61	0.87	0.69	0.96	C
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		0.39	0.75	1.00	0.61	0.80	0.38	0.59	0.80	0.75	0.87	C
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		0.51	0.81	1.00	0.67	0.84	0.51	0.54	0.70	0.81	0.81	C
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.14	0.43	1.00	0.29	0.57	0.14	0.14	0.14	0.43	0.43	C
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NINGUNO
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NINGUNO
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.17	0.56	1.00	0.45	0.62	-0.17	0.54	0.70	0.56	1.00	C,[J]
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		0.16	0.68	1.00	0.54	0.73	0.16	0.59	0.86	0.68	0.96	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.18	0.64	1.00	0.45	0.73	0.18	0.53	0.88	0.64	1.00	C,J
Nº de radiocanales/célula		1.00	0.33	0.14	1.00	0.75	1.00	0.50	0.25	0.33	0.20	A,D,F
PUNTUACIÓN		3.73	7.53	10.14	7.11	8.47	3.72	6.64	8.10	7.53	9.23	C

Tabla de Puntuación 8: Población Uniformemente Distribuida con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

Comentarios:

- Orden de puntuación: $C > J > E > H > B = I > D > G > A \approx F$.
- Los escenarios A y F obtienen prácticamente la misma puntuación, siendo tan baja, respecto de los demás escenarios, que se desaconseja su utilización. Por su parte, los escenarios B e I obtienen la misma puntuación.
- De los escenarios FFR, el escenario J es el que obtiene la mejor puntuación, alcanzando el segundo puesto.

b) Caso: $n=2.5$

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		3.50	11.93	18.99	10.00	12.90	3.51	11.08	16.82	11.91	18.98	C, $[J]$
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		5.54	15.26	22.53	12.34	16.36	5.52	13.25	19.31	15.23	21.53	C
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		10.02	21.19	28.68	16.98	22.47	9.98	16.38	22.57	21.18	24.83	C
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		17.19	29.31	36.83	23.94	30.65	17.15	19.05	25.34	29.35	29.29	C
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		0.25	0.94	1.00	0.75	0.98	0.25	0.89	0.95	0.94	1.00	C, $[J]$
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	C
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NINGUNO
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NINGUNO
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-3.32	5.16	10.09	3.82	5.83	-3.31	4.71	6.04	5.16	10.08	C, $[J]$
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		0.62	8.63	13.37	6.57	9.38	0.61	7.23	11.32	8.61	12.73	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.10	0.39	0.91	0.24	0.45	0.10	0.19	0.71	0.39	0.91	C, $[J]$
Nº de radiocanales/célula		20	6.67	2.86	20	15	20	10	5	6.67	4	A,D,F

Tabla Comparativa 9: Población Uniformemente Distribuida con $r=3\text{Km}$ y $n=2.5$.

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		0.18	0.63	1.00	0.53	0.68	0.18	0.58	0.89	0.63	1.00	C, $[J]$
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		0.25	0.68	1.00	0.55	0.73	0.25	0.59	0.86	0.68	0.96	C
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		0.35	0.74	1.00	0.59	0.78	0.35	0.57	0.79	0.74	0.87	C
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		0.47	0.80	1.00	0.65	0.83	0.47	0.52	0.69	0.80	0.80	C
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		0.25	0.94	1.00	0.75	0.98	0.25	0.89	0.95	0.94	1.00	C, $[J]$
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0	0.50	1.00	0	0.50	0	0	0	0.50	0.50	C
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NINGUNO
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NINGUNO
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.33	0.51	1.00	0.38	0.58	-0.33	0.47	0.60	0.51	1.00	C, $[J]$
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		0.05	0.65	1.00	0.49	0.70	0.05	0.54	0.85	0.64	0.95	C
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.11	0.43	1.00	0.26	0.49	0.11	0.21	0.78	0.43	1.00	C, $[J]$
Nº de radiocanales/célula		1.00	0.33	0.14	1.00	0.75	1.00	0.50	0.25	0.33	0.20	A,D,F
PUNTUACIÓN		2.88	7.21	10.14	6.20	8.02	2.88	5.87	7.66	7.20	9.28	C

Tabla de Puntuación 9: Población Uniformemente Distribuida con $r=3\text{Km}$ y $n=2.5$.Comentarios:

- Orden de puntuación: $C > J > E > H > B \approx I > D > G > A = F$.
- Los escenarios A y F obtienen la misma puntuación, siendo tan baja, respecto de los demás escenarios, que se desaconseja su utilización. Por su parte, los escenarios B e I obtienen, prácticamente, la misma puntuación.
- De los escenarios FFR, el escenario J es el que obtiene la mejor puntuación, alcanzando el segundo puesto.
- La única diferencia significativa respecto del caso anterior ($n=3$) es que, aunque se conserva el orden de puntuación de los escenarios, se acentúa la distancia de los primeros (C y J) respecto de los demás.

3.5.2. Segunda Aproximación (Razonada)

En todas las simulaciones de este apartado se ha tomado $r = 3$ Km con $n = 3$, representativo de un entorno suburbano o rural.

3.5.2.1. Asignación de Ancho de Banda Fijo al Radiocanal

3.5.2.1.1. Población Uniformemente Distribuida

a) Caso: $n=3$

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		4.51	15.68	24.60	13.27	16.94	4.55	15.70	24.59	15.66	24.57	C,[H],[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		7.60	20.04	29.02	16.38	21.46	7.64	20.05	29.03	20.05	28.97	[C],H,[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		14.12	27.56	36.56	22.35	29.17	58.97	58.99	58.93	58.91	58.81	[F],G,[H],[I],[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		23.66	37.54	46.43	31.01	39.20	68.72	68.82	68.81	68.80	68.58	[F],G,[H],[I],[J]
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.01	0.03	0.07	0.02	0.04	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	F,G,H,I,J
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NINGUNO
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NINGUNO
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-2.23	7.57	13.44	6.06	8.36	-2.20	7.57	13.41	7.57	13.41	C,[H],[J]
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		2.72	11.79	17.39	9.39	12.69	2.75	11.79	17.40	11.79	17.36	[C],H,[J]
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.18	0.64	1.00	0.45	0.73	0.30	0.64	1.00	0.64	1.00	C,H,J
Nº de radiocanales/célula		20	6.67	2.86	20	15	20	10	5	6.67	4	A,D,F

Tabla Comparativa 10: Población Uniformemente Distribuida con $r=3$ Km y $n=3$.

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		0.18	0.64	1.00	0.54	0.69	0.18	0.64	1.00	0.64	1.00	C,[H],[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		0.26	0.69	1.00	0.56	0.74	0.26	0.69	1.00	0.69	1.00	[C],H,[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		0.24	0.47	0.62	0.38	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	[F],G,[H],[I],[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		0.34	0.55	0.67	0.45	0.57	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	[F],G,[H],[I],[J]
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.03	0.10	0.23	0.07	0.13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	F,G,H,I,J
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NINGUNO
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NINGUNO
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.17	0.56	1.00	0.45	0.62	-0.16	0.56	1.00	0.56	1.00	C,[H],[J]
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		0.16	0.68	1.00	0.54	0.73	0.16	0.68	1.00	0.68	1.00	[C],H,[J]
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.18	0.64	1.00	0.45	0.73	0.30	0.64	1.00	0.64	1.00	C,H,J
Nº de radiocanales/célula		1.00	0.33	0.14	1.00	0.75	1.00	0.50	0.25	0.33	0.20	A,D,F
PUNTUACIÓN		3.30	6.66	8.66	6.44	7.45	5.82	8.71	10.25	8.54	10.20	H,[J]

Tabla de Puntuación 10: Población Uniformemente Distribuida con $r=3$ Km y $n=3$.

Comentarios:

- Orden de puntuación: $H > J > G > C > I > E > B > D > F > A$.
- Los escenarios FFR mejoran significativamente respecto al caso (-muy pesimista-) de considerar interferencia en el anillo central de la célula $EB0$.
- Entre los escenarios que no aplican segmentación FFR, el C resulta la mejor opción, obteniendo una puntuación considerablemente mejor que las opciones de reutilización sectorial de 120° .
- Los escenarios H y J , respectivamente, resultan ser las mejores opciones, alcanzando, prácticamente, la misma puntuación.
- Bajo esta Segunda Aproximación, entre ambos escenarios, lógicamente se optaría por el H , por razones de sencillez en cuanto a planificación y gestión de los canales de la red: aunque el número de radiocanales de la red es el mismo en ambos casos (20), la red del escenario H implementa en el enlace ocho bandas diferenciadas (colores) de radiocanales, frente a las diez de la red del escenario J .
- Por otra parte, el escenario H emplea cinco radiocanales en la célula, frente a los cuatro del escenario J , factor responsable de esa ligera ventaja en la puntuación, que se traduce en mejores prestaciones para el acceso simultáneo de usuarios (mejor disponibilidad de red). Así, por ejemplo, si se piensa en una célula que dé cobertura a un municipio y los chalets de alrededor, con el escenario H podrían asignarse dos radiocanales al borde exterior (con menos densidad de población) y 3 al anillo interior.

3.5.2.1.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia**a) Caso: $n=3$**

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
CRITERIO												
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		6.47	18.47	27.59	15.28	19.90	6.45	18.43	27.57	18.46	27.48	C,[H],[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		13.46	26.89	35.92	21.76	28.44	58.23	58.13	58.31	58.09	58.11	[F],[G],[H],[I],[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		26.61	40.65	49.41	33.64	42.40	71.83	71.79	71.89	71.63	71.65	[F],[G],[H],[I],[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		42.62	56.51	65.22	48.63	58.33	87.49	87.71	87.93	87.57	87.54	[F],[G],[H],[I],[J]
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.06	0.15	0.24	0.09	0.17	0.53	0.53	0.54	0.53	0.53	H
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0	0	0	0	0	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	F,G,H,I,J
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NINGUNO
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-1.31	8.30	14.10	6.77	9.13	-1.32	8.28	14.14	8.27	14.10	[C],[H],[J]
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		7.37	16.08	21.60	12.88	17.04	35.06	35.00	35.11	34.97	34.99	[F],[G],[H],[I],[J]
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.41	0.80	1.00	0.66	0.85	0.53	0.79	1.00	0.79	1.00	C,H,J
Nº de radiocanales/célula		20	6.67	2.86	20	15	20	10	5	6.67	4	A,D,F

Tabla Comparativa 11: Distribución de Población Uniforme en Distancia con $r = 3 \text{ Km}$ y $n = 3$.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
CRITERIO												
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		0.23	0.67	1.00	0.55	0.72	0.23	0.67	1.00	0.67	1.00	C,[H],[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		0.23	0.46	0.62	0.37	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	[F],[G],H,[I],[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		0.37	0.57	0.69	0.47	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	[F],[G],H,[I],[J]
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		0.48	0.64	0.74	0.55	0.66	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	[F],[G],H,[I],[J]
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.11	0.28	0.44	0.17	0.31	0.98	0.98	1.00	0.98	0.98	H
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	F,G,H,I,J
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NINGUNO
$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x)=0.1$		-0.09	0.59	1.00	0.48	0.65	-0.09	0.59	1.00	0.58	1.00	[C],H,[J]
$\text{SINR}_x / P_r (\text{SINR} \leq \text{SINR}_x)=0.5$		0.21	0.46	0.62	0.37	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	[F],[G],H,[I],[J]
$P_r (\text{SINR} > 0 \text{ dB})$		0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (\text{SINR} > 10 \text{ dB})$		0.41	0.80	1.00	0.66	0.85	0.53	0.79	1.00	0.79	1.00	C,H,J
Nº de radiocanales/célula		1.00	0.33	0.14	1.00	0.75	1.00	0.50	0.25	0.33	0.20	A,D,F
PUNTUACIÓN		4.38	6.80	8.25	6.62	7.51	9.07	10.53	11.25	10.35	11.18	H, [J]

Tabla de Puntuación 11: Distribución de Población Uniforme en Distancia con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

Comentarios:

- Orden de puntuación: $H > J > G > I > F > C > E > B > D > A$.
- Como puede observarse, varía el orden de puntuación respecto del mismo caso con distribución de población uniformemente distribuida (apartado anterior), si bien, en ambos casos se mantiene, por separado, el orden de los escenarios FFR y el orden de los restantes.
- En este caso, cualquiera de las opciones FFR se muestra significativamente mejor que cualquiera de las demás. No obstante, se estrecha considerablemente la diferencia de puntuación entre los escenarios FFR (con la salvedad del escenario J , prácticamente empatado con el H), respecto del caso de población uniformemente distribuida.
- Bajo la premisa de no interferencia en el anillo central de los escenarios FFR, se concluye que, ante una distribución de población con una mayor concentración de usuarios en su zona central, con asignación de ancho de banda fijo al radiocanal interesan inequívocamente las soluciones basadas en reutilización FFR. Tal puede ser el escenario de un pequeño municipio y sus urbanizaciones colindantes, o el de un pueblo con sus fincas y campos aledaños.
- Por otra parte, se concluye que, con independencia del tipo de distribución de población de la célula, bajo la presunción de que no hay interferencia en el anillo central de los escenarios FFR, la mejor opción con asignación de ancho de banda fijo al radiocanal es reutilización FFR 7+1.

3.5.2.1.3. Distribución de Población No Uniforme o Indeterminada.

El objetivo de este apartado es valorar de forma conjunta, para cada uno de los escenarios, el comportamiento mostrado con ambos tipos de distribución de población: uniformemente distribuida y uniforme en distancia.

Para ello, en cada caso, se va a normalizar la puntuación total de cada uno de los escenarios respecto de la puntuación máxima alcanzada por el conjunto de ellos, de tal modo que la mayor de las puntuaciones normalizadas sea de diez puntos, a fin de ajustar a una misma escala el rango de puntuaciones de cada distribución de población.

A continuación, se sumarán las puntuaciones normalizadas obtenidas bajo una y otra distribución, para cada uno de los escenarios.

Finalmente, el escenario que obtenga la mayor puntuación se tomará como la opción más recomendable ante una situación en que no se tenga caracterizada la distribución de población.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
POBLACIÓN												
UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA		3.30	6.66	8.66	6.44	7.45	5.82	8.71	10.25	8.54	10.20	H, [J]
UNIFORME EN DISTANCIA		4.38	6.80	8.25	6.62	7.51	9.07	10.53	11.25	10.35	11.18	H, [J]

Tabla Comparativa 12: Asignación de Ancho de Banda Fijo al Radiocanal con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
POBLACIÓN												
UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA		3.22	6.50	8.45	6.28	7.27	5.68	8.50	10.00	8.33	9.95	H, [J]
UNIFORME EN DISTANCIA		3.89	6.04	7.33	5.88	6.68	8.06	9.36	10.00	9.20	9.94	H, [J]
PUNTUACIÓN		7.11	12.54	15.78	12.16	13.95	13.74	17.86	20.00	17.53	19.89	H, [J]

Tabla de Puntuación 12: Asignación de Ancho de Banda Fijo al Radiocanal con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

Comentarios:

- Orden de puntuación: $H > J > G > I > C > E > F > B > D > A$.
- Las tres primeras posiciones no se ven alteradas con la aplicación de la valoración conjunta.
- Se observa una diferencia muy abultada entre la puntuación del escenario A y la del inmediatamente anterior (D).

3.5.2.2. Asignación de Máximo Ancho de Banda al Radiocanal

3.5.2.2.1. Población Uniformemente Distribuida

a) Caso: $n=3$

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		88.48	101.50	68.68	86.48	82.91	44.79	76.78	60.22	51.51	48.53	B
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		148.94	130.42	81.24	107.30	105.24	75.49	98.13	71.12	66.06	57.32	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		276.90	180.83	102.71	146.82	144.05	424.00	235.95	130.47	167.59	107.99	F
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		467.11	246.65	131.14	205.52	194.75	522.43	284.50	154.87	200.51	128.04	F
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	1.00	0.99	0.78	0.70	[A],B,C,D,E,G,[H]
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.69	0.77	0.27	0.57	0.55	0.38	0.48	0.30	0.30	0.30	B
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0.37	0.19	0.01	0.11	0.09	0.30	0.30	0.02	0.10	0.00	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-2.33	7.30	13.09	5.85	8.14	-2.29	7.37	13.11	7.45	13.21	[C],[H],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		2.57	11.48	17.03	9.20	12.43	2.67	11.52	17.04	11.64	17.17	[C],[H],J
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.18	0.62	1.00	0.43	0.70	0.30	0.62	1.00	0.63	1.00	C,H,J
Nº de radiocanales/célula		1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	D,E

Tabla Comparativa 13: Población Uniformemente Distribuida con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

CRITERIO	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		0.87	1.00	0.68	0.85	0.82	0.44	0.76	0.59	0.51	0.48	B
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		1.00	0.88	0.55	0.72	0.71	0.51	0.66	0.48	0.44	0.38	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		0.65	0.43	0.24	0.35	0.34	1.00	0.56	0.31	0.40	0.25	F
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		0.89	0.47	0.25	0.39	0.37	1.00	0.54	0.30	0.38	0.25	F
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	1.00	0.99	0.78	0.70	[A],B,C,D,E,G,[H]
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.90	1.00	0.35	0.74	0.71	0.49	0.62	0.39	0.39	0.39	B
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		1.00	0.51	0.03	0.30	0.24	0.81	0.81	0.05	0.27	0	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.18	0.55	0.99	0.44	0.62	-0.17	0.56	0.99	0.56	1.00	[C],[H],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		0.15	0.67	0.99	0.54	0.72	0.16	0.67	0.99	0.68	1.00	[C],[H],J
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.18	0.62	1.00	0.43	0.70	0.30	0.62	1.00	0.63	1.00	C,H,J
Nº de radiocanales/célula		0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	D,E
PUNTUACIÓN		8.47	9.46	8.41	8.76	9.23	7.59	9.47	8.76	7.71	8.12	[B],G

Tabla de Puntuación 13: Población Uniformemente Distribuida con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

Comentarios:

- Orden de puntuación: $G \simeq B > E > D = H > A > C > J > I > F$.
- Frente al análisis, muy pesimista, que considera interferencia en el anillo interior de la célula de los escenarios FFR, bajo esta Segunda Aproximación, bastante más razonable, se puede decir que el escenario *B* se mantiene como la opción más ventajosa, si bien, ahora empatada con el escenario *G*.

- Se observa también que todos los escenarios FFR mejoran significativamente, con respecto al análisis de la Primera Aproximación.

3.5.2.2.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia

a) Caso: $n=3$

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
CRITERIO												
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		126.62	120.78	77.09	99.82	97.43	63.34	90.56	67.66	60.88	54.30	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		265.06	175.72	100.96	143.42	139.71	415.90	232.78	129.16	165.06	106.48	F
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		530.71	266.44	139.92	222.87	209.27	551.46	299.98	162.75	210.26	133.72	F
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		846.17	374.35	184.81	325.01	288.88	710.21	379.19	202.50	263.37	165.15	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82	1.00	1.00	0.88	0.83	A,B,C,D,E,G,H
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.82	0.87	0.51	0.75	0.73	0.60	0.68	0.54	0.53	0.53	B
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		0.60	0.42	0.07	0.31	0.27	0.53	0.53	0.11	0.29	0.02	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-1.44	8.05	13.77	6.56	8.89	-1.42	8.06	13.81	8.16	13.88	[C],[H],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		7.23	15.76	21.24	12.73	16.73	25.03	28.02	31.10	29.81	32.05	J
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.40	0.78	1.00	0.65	0.83	0.53	0.78	1.00	0.79	1.00	C,H,J
Nº de radiocanales/célula		1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	D,E

Tabla Comparativa 14: Distribución de Población Uniforme en Distancia con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
CRITERIO												
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.25$		1.00	0.95	0.61	0.79	0.77	0.50	0.72	0.53	0.48	0.43	A
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.50$		0.64	0.42	0.24	0.34	0.34	1.00	0.56	0.31	0.40	0.26	F
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.75$		0.96	0.48	0.25	0.40	0.38	1.00	0.54	0.30	0.38	0.24	F
$C_x / P_r (C \leq C_x)=0.90$		1.00	0.44	0.22	0.38	0.34	0.84	0.45	0.24	0.31	0.20	A
$P_r (C > 10 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	TODOS
$P_r (C > 50 \text{ Mbps})$		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82	1.00	1.00	0.88	0.83	A,B,C,D,E,G,H
$P_r (C > 100 \text{ Mbps})$		0.94	1.00	0.59	0.86	0.84	0.69	0.78	0.62	0.61	0.61	B
$P_r (C > 200 \text{ Mbps})$		1.00	0.70	0.12	0.52	0.45	0.88	0.88	0.18	0.48	0.03	A
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.1$		-0.10	0.58	0.99	0.47	0.64	-0.10	0.58	0.99	0.59	1.00	[C],[H],J
$SINR_x / P_r (SINR \leq SINR_x)=0.5$		0.23	0.49	0.66	0.40	0.52	0.78	0.87	0.97	0.93	1.00	J
$P_r (SINR > 0 \text{ dB})$		0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	B,C,D,E,G,H,I,J
$P_r (SINR > 10 \text{ dB})$		0.40	0.78	1.00	0.65	0.83	0.53	0.78	1.00	0.79	1.00	C,H,J
Nº de radiocanales/célula		0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	D,E
PUNTUACIÓN		9.22	9.17	8.01	8.81	9.11	9.43	9.83	8.81	8.52	8.27	G

Tabla de Puntuación 14: Distribución de Población Uniforme en Distancia con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

Comentarios:

- Orden de puntuación: $G > F > A > B > E > D = H > I > J > C$.
- Según puede observarse, cambia el orden de puntuación de los escenarios, respecto del caso de población uniformemente distribuida.

- El escenario *G* se desmarca como la mejor opción, frente al caso de población uniformemente distribuida, en el que ocupaba la primera posición empatado con el escenario *B*.
- Los escenarios *D* y *H* vuelven a obtener la misma puntuación el uno que el otro, del mismo modo que en el caso de población uniformemente distribuida.
- Los escenarios *A* y *B* obtienen una puntuación muy similar, ligeramente superior a favor del primero, presentándose como la mejor opción que no contemple reutilización FFR de frecuencias.
- Bajo la premisa de la Segunda Aproximación, empleando el criterio de asignación de máximo ancho de banda al radiocanal, se concluye que el escenario *G* (reutilización de 3+1 radiocanales o subbandas) es la mejor opción de las estudiadas (supuesto un $n = 3$), con independencia del tipo de distribución de población de la célula.

3.5.2.2.3. Distribución de Población No Uniforme o Indeterminada.

Se seguirá el mismo mecanismo de valoración aplicado en el apartado 3.5.2.1.3.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
POBLACIÓN												
UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA		8.47	9.46	8.41	8.76	9.23	7.59	9.47	8.76	7.71	8.12	[B],G
UNIFORME EN DISTANCIA		9.22	9.17	8.01	8.81	9.11	9.43	9.83	8.81	8.52	8.27	G

Tabla Comparativa 15: Asignación de Máximo Ancho de Banda al Radiocanal con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
POBLACIÓN												
UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA		8.94	9.99	8.88	9.25	9.75	8.01	10.00	9.25	8.14	8.57	[B],G
UNIFORME EN DISTANCIA		9.38	9.33	8.15	8.96	9.27	9.59	10.00	8.96	8.67	8.41	G
PUNTUACIÓN		18.32	19.32	17.03	18.21	19.02	17.60	20.00	18.21	16.81	16.98	G

Tabla de Puntuación 15: Asignación de Máximo Ancho de Banda al Radiocanal con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

Comentarios:

- Orden de puntuación: $G > B > E > A > D = H > F > C > J > I$.
- Puede observarse que, bajo este criterio, resulta una diferencia de puntuación relativamente estrecha la máxima y la mínima puntuación de los escenarios, a diferencia que bajo el criterio de asignación de ancho de banda fijo al radiocanal (apartado 3.5.2.1.3).

3.5.2.3. Asignación de Ancho de Banda Flexible al Radiocanal

En este apartado se pretende valorar en conjunto, para cada uno de los escenarios, las prestaciones de ambos criterios de asignación de ancho de banda analizados: asignación de máximo ancho de banda al radiocanal y asignación de ancho de banda fijo al radiocanal.

Por consiguiente, este criterio presupone una red celular que permita una configuración variable del número de radiocanales del enlace, permitiendo disponer desde varios radiocanales idénticos por subbanda (o color) hasta un único radiocanal.

Sin perjuicio de que puedan establecerse otros mecanismos de valoración, el criterio propuesto de asignación de ancho de banda flexible al radiocanal se basa en computar, de un modo sencillo, los resultados de los dos criterios anteriores. Para ello, en cada caso, se va a normalizar la puntuación total de cada uno de los escenarios respecto de la puntuación máxima alcanzada por el conjunto de ellos, de tal modo que la mayor de las puntuaciones normalizadas sea de diez puntos, a fin de ajustar a una misma escala el rango de puntuaciones de cada criterio. A continuación, se sumarán las puntuaciones normalizadas obtenidas bajo uno y otro criterio, para cada uno de los escenarios.

De este modo, bajo la premisa de la Segunda Aproximación, para el caso de un coeficiente de pérdidas $n = 3$ y un radio de cobertura de las células $r = 3$ Km, se presentan los dos casos de valoración siguientes.

3.5.2.3.1. Población Uniformemente Distribuida

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
ASIGNACIÓN												
ANCHO DE BANDA FIJO (5 MHz)		3.30	6.66	8.66	6.44	7.45	5.82	8.71	10.25	8.54	10.20	H, [J]
MÁXIMO ANCHO DE BANDA		8.47	9.46	8.41	8.76	9.23	7.59	9.47	8.76	7.71	8.12	[B],G

Tabla Comparativa 16: Población Uniformemente Distribuida con $r=3$ Km y $n=3$.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
ASIGNACIÓN												
ANCHO DE BANDA FIJO (5 MHz)		3.22	6.50	8.45	6.28	7.27	5.68	8.50	10.00	8.33	9.95	H, [J]
MÁXIMO ANCHO DE BANDA		8.94	9.99	8.88	9.25	9.75	8.01	10.00	9.25	8.14	8.57	[B],G
PUNTUACIÓN		12.16	16.49	17.33	15.53	17.02	13.69	18.50	19.25	16.47	18.52	H

Tabla de Puntuación 16: Población Uniformemente Distribuida con $r=3$ Km y $n=3$.

Orden de puntuación: $H > J \simeq G > C > E > B \simeq I > D > F > A$.

3.5.2.3.2. Distribución de Población Uniforme en Distancia

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
ASIGNACIÓN												
ANCHO DE BANDA FIJO (5 MHz)		4.38	6.80	8.25	6.62	7.51	9.07	10.53	11.25	10.35	11.18	H, [J]
MÁXIMO ANCHO DE BANDA		9.22	9.17	8.01	8.81	9.11	9.43	9.83	8.81	8.52	8.27	G

Tabla Comparativa 17: Distribución de Población Uniforme en Distancia con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
ASIGNACIÓN												
ANCHO DE BANDA FIJO (5 MHz)		3.89	6.04	7.33	5.88	6.68	8.06	9.36	10.00	9.20	9.94	H, [J]
MÁXIMO ANCHO DE BANDA		9.38	9.33	8.15	8.96	9.27	9.59	10.00	8.96	8.67	8.41	G
PUNTUACIÓN		13.27	15.37	15.48	14.84	15.95	17.65	19.36	18.96	17.87	18.35	G

Tabla de Puntuación 17: Distribución de Población Uniforme en Distancia con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

Orden de puntuación: $G > H > J > I > F > E > C > B > D > A$.

3.5.2.4. Valoración en Cómputo Global

En este apartado se pretende determinar la opción que ofrece un mejor comportamiento global, es decir, la solución presumiblemente más robusta ante una distribución de población en la célula indeterminada y una asignación flexible de ancho de banda al canal.

Para ello, se van a cruzar los resultados de las dos Tablas de Puntuación resultantes en el apartado anterior (3.5.2.3), siguiendo el mismo mecanismo.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
POBLACIÓN												
UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA		12.16	16.49	17.33	15.53	17.02	13.69	18.50	19.25	16.47	18.52	H
UNIFORME EN DISTANCIA		13.27	15.37	15.48	14.84	15.95	17.65	19.36	18.96	17.87	18.35	G

Tabla Comparativa 18: Valoración en Cómputo Global con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

	ESCENARIO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	MAYOR
POBLACIÓN												
UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA		6.32	8.57	9.00	8.07	8.84	7.11	9.61	10.00	8.56	9.62	H
UNIFORME EN DISTANCIA		6.85	7.94	8.00	7.67	8.24	9.12	10.00	9.79	9.23	9.48	G
PUNTUACIÓN		13.47	16.51	17.00	15.74	17.08	16.23	19.61	19.79	17.79	19.10	H, [G]

Tabla de Puntuación 18: Valoración en Cómputo Global con $r=3\text{Km}$ y $n=3$.

Orden de puntuación: $H > G > J > I > E > C > B > F > D > A$.

4. CONCLUSIONES

A continuación se recapitulan las conclusiones más importantes, de carácter general, alcanzadas:

- Las envolventes de población en función de la SNR, de los distintos n , en la célula circular, son monótonas en todo su rango de SNR, experimentando su amplitud, de mayor a menor SNR, un crecimiento exponencial.
- Tanto con región de cobertura circular, como con región de cobertura hexagonal regular, la forma de las envolventes de población de SNR se estrecha a medida que disminuye el coeficiente n . Dicho con otras palabras, a medida que disminuye el coeficiente n , se estrecha el rango de valores de SNR de la envolvente, desplazándose su límite inferior hacia valores mayores.
- Considerando región de cobertura circular con distribución de población uniforme en posición o uniforme en distancia, si se toma un anillo finito definido por un rango de valores de SNR, **expresados en dB**, que tenga como límite inferior el valor de SNR en el borde y como límite superior el de cualquier otro punto más cercano a la EB, dicho anillo contiene más puntos que cualquier otro anillo concéntrico de la célula definido por un rango de la misma anchura. En definitiva, se concluye que, en ambas distribuciones, el mayor número de móviles de la población se concentra hacia el valor más bajo del rango de SNR.
- El rango de valores de SNR en la región de cobertura aumenta conforme aumenta el radio de cobertura r o el coeficiente de pérdidas n .
- Los puntos más alejados de la célula coinciden con los puntos de menor SNR. Por lo general³⁶, coincidirán también, con los puntos de menor SINR.
- La atenuación de la SINR con la distancia, en la región de cobertura, es mayor conforme aumenta el valor de n , si bien, los valores elevados de n ofrecen mayor SINR en la parte interior de la misma.
- La interferencia de células cercanas produce una rampa de pendiente inversa en el rango de valores de SINR más bajo de los histogramas de población, correspondiente a los puntos del extremo de la región de cobertura. Dicho en otras palabras, la interferencia de células cercanas en las proximidades del borde de la región de cobertura ocasiona la aparición de una rampa de pendiente inversa en los histogramas de SINR.

³⁶ Esto se ha verificado en el caso del núcleo celular aislado, en panal hexagonal regular, en el que una célula se encuentra rodeada de otras seis, empleando todas ellas el mismo radiocanal. También ha sido verificado en el caso en que dicho núcleo celular emplea Reutilización Sectorial de 120° Tribanda.

- La forma de la región de cobertura puede ocasionar también que aparezca una rampa de pendiente inversa en el histograma de población de SNR (y, por ende, de SINR), coincidiendo con los puntos de menor SNR, es decir, asociada a la zona limítrofe de la región de cobertura. De este modo, el hecho de que la región de cobertura sea hexagonal regular, en lugar de perfectamente circular, da lugar a que aparezca dicha rampa en los histogramas de SNR y SINR.
- Los rangos de valores de SINR improbables o de muy baja probabilidad producen los siguientes efectos:
 - a) Discontinuidades en las curvas de CDF (tanto de SINR, como de $C[\text{Mbps}]$).
 - b) Brechas o discontinuidades en las envolventes de los histogramas de SINR.
- La amplitud del histograma muestra cómo evoluciona la pendiente de crecimiento de la curva de $\text{CDF}(\text{SINR})$.
- Las curvas de CDF (tanto de SINR, como de $C[\text{Mbps}]$) de los distintos valores del coeficiente n pueden llegar a cruzarse.
- La consideración de cobertura hexagonal regular, frente a la cobertura circular circunscrita asociada, provoca un desplazamiento de las curvas de $\text{CDF}(\text{SNR})$ hacia valores más elevados.
- El grado de interferencia en un panal hexagonal regular que emplea el mismo radiocanal descendente, con $r = 3$ Km, es considerablemente grande, especialmente para valores de $n \leq 3.5$.
- Por lo general, para el estudio de SINR en la región de cobertura de una célula, será suficiente con considerar las contribuciones de las Estaciones Base Interferentes pertenecientes a los dos primeros anillos circundantes o, en su defecto, las contribuciones del primer anillo celular interferente, cuando se trate de Estaciones Base más lejanas.
- El comportamiento de los escenarios depende del valor del coeficiente de pérdidas n y del radio de cobertura de la célula r , variando el resultado de su comparativa, además, en función del criterio de evaluación empleado.
- Las prestaciones ofrecidas por los escenarios varían en función del tipo de distribución de población considerada en la célula y del criterio de asignación de ancho de banda al canal aplicado.
- Bajo la premisa de la Segunda Aproximación (no interferencia en el anillo interior de los escenarios FFR), se concluye que, con asignación de ancho de banda fijo al radiocanal, ante una distribución de población con una mayor concentración de usuarios en la zona central,

interesan inequívocamente las soluciones basadas en reutilización FFR. Tal puede ser el escenario de un pequeño municipio y sus urbanizaciones colindantes, o el de un pueblo con sus fincas y campos aledaños.

- Bajo la premisa de la Segunda Aproximación y el criterio de asignación de ancho de banda fijo al radiocanal, la mejor opción de las estudiadas ante una distribución de población indeterminada en la región de cobertura (para $n=3$ y $r=3$) es la reutilización FFR 7+1 (escenario *H*).
- Bajo la premisa de la Segunda Aproximación y el criterio de asignación de máximo ancho de banda al radiocanal, la mejor opción de las estudiadas ante una distribución de población indeterminada en la región de cobertura (para $n=3$ y $r=3$) es la reutilización FFR 3+1 (escenario *G*).
- Bajo la premisa de la Segunda Aproximación, con una población uniformemente distribuida en la región de cobertura, la solución más robusta ante una asignación flexible de ancho de banda al radiocanal (para $n=3$ y $r=3$) es la reutilización FFR 7+1 (escenario *H*).
- Bajo la premisa de la Segunda Aproximación, con una distribución de población uniforme en distancia en la región de cobertura, la solución más robusta ante una asignación flexible de ancho de banda al radiocanal (para $n=3$ y $r=3$) es la reutilización FFR 3+1 (escenario *G*).
- Bajo la premisa de la Segunda Aproximación, la solución que ofrece un mejor comportamiento global, de las estudiadas, es decir, la solución presumiblemente más robusta ante una distribución de población en la célula indeterminada y una asignación flexible de ancho de banda al canal (para $n=3$ y $r=3$) es la reutilización FFR 7+1 (escenario *H*).

5. PRESUPUESTO

En este apartado se pretende cuantificar económicamente el esfuerzo dedicado a la elaboración del presente Proyecto, desarrollado en el ámbito del Convenio de Colaboración que mantiene la Universidad Carlos III de Madrid con el Instituto Tecnológico de la Marañosa, por el que se fija la cooperación en el área de Electrónica y de Teoría de la Señal.

Este Convenio se celebra en el seno del acuerdo marco de colaboración en la investigación de tecnologías de interés común, suscrito entre el Ministerio de Defensa y la Universidad Carlos III de Madrid.

Además de las actividades orientadas a favorecer la formación y el apoyo a personal docente e investigador, la nueva Encomienda de Gestión del Convenio contempla fórmulas de financiación, con cargo a los créditos del Instituto, de determinados Proyectos de Investigación en las áreas de interés, bajo la dirección de los Departamentos universitarios responsables.

La subvención de proyectos de investigación académicos, en el marco de la Encomienda, alcanza a cualquier coste derivado de su desarrollo, incluida la remuneración del personal asignado a los mismos.

Dada la naturaleza abierta de este tipo de proyectos y la incertidumbre en la consecución de resultados objetivos, la normativa aplicable exime de una planificación temporal de sus hitos, entre la documentación a presentar para la aprobación de la asignación presupuestaria, si bien, obliga a la definición justificada de un horizonte temporal, que no podrá exceder de veinticuatro (24) meses.

La tramitación incluye la aportación de una descripción general de los objetivos del Proyecto, una relación de los recursos materiales y humanos necesarios y un desglose de las actividades que lo componen, como base de estimación de la duración del mismo.

La valoración económica estará fundamentada, necesariamente, en la duración de los trabajos y los gastos que puedan derivarse de los recursos que se comprometan. En ningún caso, podrá estar basada en la supuesta aplicabilidad o rentabilidad de resultados potenciales, o en cualquier otro criterio subjetivo que denote arbitrariedad.

En el capítulo introductorio de este documento se incluye la descripción de los objetivos del Proyecto y la relación de recursos implicados.

El desarrollo del Proyecto se compone de las siguientes FASES, abordadas en orden cronológico, si bien, interrelacionadas entre ellas:

- **Documentación:**

Supone la búsqueda y estudio de la bibliografía necesaria para comprender el concepto del Modelo de Propagación Log-Distancia, sus implicaciones y su aplicabilidad a los entornos celulares.

- **Definición del Objeto:**

Dada la generalidad de las especificaciones de partida, se trata de centrar el campo de estudio o la línea de investigación, proponiendo al supervisor o tutor del Proyecto casos de estudio, hipótesis de trabajo, valores de parámetros de transmisión, criterios de aplicación, etc.

- **Programación en Matlab:**

Consiste en el desarrollo del software necesario. Se compone, a su vez, de las siguientes tareas:

- a) **Análisis:**

Incluye recopilación de datos o ecuaciones a programar, caracterización de escenarios, determinación del alcance de los códigos, definición parámetros de simulación, desarrollo de diagramas de flujo, etc.

- b) **Programación:**

Se refiere a la codificación en Matlab y las pruebas de error de los códigos necesarios.

- **Estudio:**

Consiste en la aplicación de las herramientas de simulación desarrolladas para la obtención de resultados. Incluye, a su vez, las siguientes tareas:

- a) **Simulación:**

Se trata de la ejecución de los códigos y la anotación de resultados.

- b) **Evaluación de resultados:**

Consiste en un pre-análisis de los resultados, orientado a la búsqueda de conclusiones, a fin de determinar la dirección de las nuevas simulaciones.

- **Informe de Conclusiones:**

Comprende la recopilación, filtrado y análisis de los resultados, el establecimiento de la comparativas pertinentes y la síntesis de conclusiones.

▪ **Redacción de la Memoria:**

Es la formalización, en un documento detallado, del estudio realizado y de las conclusiones alcanzadas.

En base a los aspectos anteriores, para este Proyecto se estimó y acordó una duración de UN AÑO o DOCE MESES, en el marco de condiciones estipuladas por las instrucciones sobre jornada y horario de trabajo del personal al servicio de la Administración General del Estado y sus organismos públicos.

De este modo, para el cálculo del esfuerzo o dedicación, se contabilizó una duración de la jornada laboral de 37.5 horas semanales de trabajo efectivo de promedio en cómputo anual, distribuidas en 21 días laborables por mes, con una carga diaria de 7.5 horas. De este modo, la dedicación total estimada para el presente Proyecto resulta:

$$\text{Dedicación Total Estimada} = 21 \frac{\text{días lab.}}{\text{mes}} \times 7.5 \frac{\text{horas}}{\text{día lab.}} \times 12 \text{ meses} = 1890 \text{ horas}$$

La nueva Encomienda establece la asimilación salarial del personal implicado en los proyectos de investigación al Grupo 1 del Personal Laboral de la Administración General del Estado³⁷.

Ello conlleva una retribución anual actualizada de 28.336,56 € brutos.

En la valoración Proyecto se repercuten, así mismo, costes de dirección y asesoramiento por parte del Departamento implicado, en la misma cuantía que se deriva de las tasas públicas de matriculación del Proyecto Fin de Carrera: 165,17 €.

En la Encomienda se establecen tablas en las que se tipifican diferentes costes genéricos imputables a los Proyectos de Investigación. Los de aplicación al presente son:

Impresión y Encuadernación: 150 €

Licencia Matlab: 80 €

Licencia Office: 75 €

Estación de Trabajo: 600 €

No se contempla ningún gasto adicional a los anteriores, regulados por la Encomienda.

De este modo, la base imponible del Proyecto asciende a un total de: **29.406,73 €**.

Leganés, a 22 de Septiembre de 2017

³⁷ Anexo V de la Resolución de 3 de noviembre de 2009, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el III Convenio colectivo único para el personal laboral de la Administración General del Estado, cuya última modificación es del 5 de diciembre de 2014.

GLOSARIO

CDF: Cumulative Distribution Function. Función de Distribución de Probabilidad. En el documento se sobreentiende, siempre, Función de Distribución de Probabilidad Estimada.

dB: Decibelio.

EB: Estación Base.

FFR: Fractional Frequency Reuse. Reutilización de Frecuencia Fraccional.

Hz: Hertzio.

Km: Kilómetro.

m: Metro.

Mbps: Megabit por segundo.

MSD: Mínima Señal Detectable en un terminal.

PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.

Pr: Probabilidad.

SINR: Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio. Relación Señal a Ruido más Interferencia.

SNR: Signal-to-Noise Ratio. Relación Señal a Ruido. Relación Señal a Ruido.

TDMA: Time Division Multiple Access. Acceso Múltiple por División en el Tiempo.

3-D: En tres dimensiones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Jeison Marín Alfonso, “Modelo de Propagación Empírico para Predicción de Pérdidas de Potencia en Señales Inalámbricas bajo el Estándar IEEE 802.11B/G”, *Gerenc. Technol. Inform*, Vol. 8, N° 20, pp. 35-45, 8 de Junio de 2009.
- [2] Laura Yopez y Manuel Gragirena, “Corroboración del modelo de propagación ‘indoor’ Log-Normal Shadowing Path Loss Model y caracterización de los edificios de Eléctrica/Electrónica y de Aulas”, *X Jornadas de Investigación 2012*, pp. 64-67.
- [3] José M. Hernando, *Comunicaciones Móviles*. Centro de Estudios Ramón Areces, 1997.
- [4] Ajay R. Mishra, *Advanced Cellular Network Planning and Optimisation. 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*, John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- [5] T. Rappaport, “Wireless Communications”, Ed. Prentice Hall, 1996.

APÉNDICE A:

FACTOR DE RUIDO DE UN RECEPTOR

A.1.- Factor de ruido de un cuadripolo definido a temperatura T_0 .

Supóngase que la potencia de ruido de entrada a un cuadripolo, de ganancia de potencia G , puede modelarse como la potencia de ruido entregada a una carga adaptada por una resistencia a temperatura T_0 . En tal caso será:

$$P_{N_{ent}} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \quad (A.1)$$

Donde:

K es la Constante del Boltzmann.

B_{eq} es el Ancho de Banda Equivalente de Ruido del receptor.

T_0 es la Temperatura Ambiente.

La potencia de ruido a su salida será:

$$P_{N_{sal}} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot F \cdot G \quad (A.2)$$

El factor de ruido F del cuadripolo habrá sido calculado por el fabricante midiendo la potencia de salida en condiciones de adaptación del circuito, o de conformidad con las especificaciones de montaje.

La potencia de ruido referida a la entrada del cuadripolo será:

$$P_{N_{ref IN}} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot F \quad (A.3)$$

Nótese que si el cuadripolo no tiene ganancia ($\Rightarrow G = 1$) entonces $P_{N_{sal}} = P_{N_{ref IN}}$.

Por otra parte, el ruido a la salida del cuadripolo puede venir expresado como la suma de dos aportaciones: la debida al ruido de entrada al cuadripolo, por una parte, y el ruido interno generado en el propio cuadripolo, por otra:

$$P_{N_{sal}} = P_{N_{ent}} \cdot G + P_{Ni} \quad (A.4)$$

Igualando las expresiones (A.2) y (A.4), correspondientes a la $P_{N_{sal}}$:

$$K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot F \cdot G = P_{N_{ent}} \cdot G + P_{Ni}$$

Sustituyendo en la expresión anterior $P_{N_{ent}}$ por su expresión tomada de (A.1) resulta:

$$K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot F \cdot G = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot G + P_{Ni} \Rightarrow$$

$$\boxed{P_{Ni} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot G \cdot (F - 1)} \quad (A.5)$$

A.2.- Factor de ruido de un cuadripolo definido a temperatura $T_A \neq T_0$.

Supóngase ahora que la potencia de ruido de entrada al cuadripolo no pudiese modelarse mediante una temperatura de ruido T_0 , por no corresponderse con la potencia de ruido entregada a una carga adaptada por una resistencia a temperatura T_0 , sino con la potencia de ruido entregada a una carga adaptada por una resistencia a temperatura T_A , es decir:

$$P_{N_{ent}} = K \cdot T_A \cdot B_{eq} \quad (A.6)$$

En este caso podría definirse el factor de ruido del cuadripolo a la temperatura T_A , de tal modo que:

$$P_{N_{sal}} = K \cdot T_A \cdot B_{eq} \cdot F_A \cdot G \quad (A.7)$$

Donde F_A es el factor de ruido del cuadripolo definido a la temperatura de ruido T_A .

$$F \neq F_A$$

La potencia de ruido referida a la entrada del cuadripolo sería:

$$P_{N_{ref IN}} = K \cdot T_A \cdot B_{eq} \cdot F_A \quad (A.8)$$

Nótese que si el cuadripolo no tiene ganancia ($\Rightarrow G = 1$) entonces $P_{N_{sal}} = P_{N_{ref IN}}$.

Por otra parte, nótese que la potencia de ruido a la salida del cuadripolo es distinta en uno y otro caso, ya que la potencia de ruido de entrada es distinta:

$$(A.1) \neq (A.6) \Rightarrow (A.2) \neq (A.7)$$

O bien:

$$K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \neq K \cdot T_A \cdot B_{eq} \Rightarrow K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot F \cdot G \neq K \cdot T_A \cdot B_{eq} \cdot F_A \cdot G \Rightarrow T_0 \cdot F \neq T_A \cdot F_A$$

Igualando las expresiones (A.4) y (A.7), correspondientes a la $P_{N_{sal}}$, de forma análoga a como se hizo en el apartado A.1 de este apéndice:

$$K \cdot T_A \cdot B_{eq} \cdot F_A \cdot G = P_{N_{ent}} \cdot G + P_{Ni}$$

Sustituyendo en la expresión anterior $P_{N_{ent}}$ por su expresión tomada de (A.6) resulta:

$$K \cdot T_A \cdot B_{eq} \cdot F_A \cdot G = K \cdot T_A \cdot B_{eq} \cdot G + P_{Ni} \Rightarrow$$

$$\boxed{P_{Ni} = K \cdot T_A \cdot B_{eq} \cdot G \cdot (F_A - 1)} \quad (A.9)$$

A.3.- Potencia de ruido interno del cuadripolo.

El ruido interno del cuadripolo es independiente de la condición de entrada al mismo. En los apartados anteriores se han obtenido dos expresiones de la P_{Ni} , en función de las condiciones en que se ha caracterizado o medido el factor de ruido del cuadripolo.

Independientemente de cómo haya sido caracterizado el cuadripolo, ambas expresiones (A.5) y (A.9) deben ser iguales, de tal modo que:

$$K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot G \cdot (F - 1) = K \cdot T_A \cdot B_{eq} \cdot G \cdot (F_A - 1) \Rightarrow$$

$$\boxed{T_0 \cdot (F - 1) = T_A \cdot (F_A - 1)} \quad (A.10)$$

La expresión anterior proporciona una relación del factor de ruido de un cuadripolo definido a dos temperaturas de ruido distintas.

A.4.- Factor de ruido de una antena.

Asimilando la antena a un cuadripolo en el que la potencia de ruido de entrada puede modelarse como la entregada a una carga adaptada por una resistencia a temperatura T_0 , se va a definir el factor de ruido de una antena, supuesta con eficiencia $e = 1$, como aquel valor F_{ant} para el cual se cumple que la potencia de ruido entregada a un transmisor adaptado es:

$$\boxed{P_{N_{sal}} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot F_{ant}} \quad (A.11)$$

Por otra parte, asimilando la antena a una resistencia, análogamente a la expresión (A.6), la $P_{N_{sal}}$ (supuesta $e = 1$), será:

$$\boxed{P_{N_{sal}} = K \cdot T_{ant} \cdot B_{eq}} \quad (A.12)$$

Donde T_{ant} es la Temperatura Equivalente de Ruido de la antena.

Igualando las expresiones (A.11) y (A.12) resulta:

$$T_0 \cdot F_{ant} = T_{ant} \Rightarrow \boxed{F_{ant} = T_{ant}/T_0} \quad (A.13)$$

A.5.- Potencia de ruido en un receptor simple.

Supóngase una antena conectada a un receptor, según se muestra en la figura siguiente:

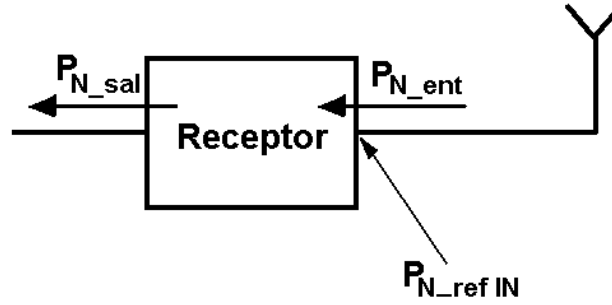


Figura A.1: Esquema básico de la cadena de recepción de una Estación Base.

Este sistema podría ser representativo de la cadena de recepción de un Terminal Móvil.

A continuación se va a calcular, en este sistema, la potencia de ruido referida a la entrada del receptor, en función de los factores de ruido. Será:

$$P_{N_{ref\ IN}} = P_{N_{ent}} + \frac{P_{Ni}}{G} \quad (A.14)$$

Sustituyendo la potencia de ruido de entrada al receptor $P_{N_{ent}}$ por su expresión tomada de (A.12):

$$P_{N_{ref\ IN}} = K \cdot T_{ant} \cdot B_{eq} + \frac{P_{Ni}}{G}$$

Sustituyendo la temperatura equivalente de ruido de la antena T_{ant} por su expresión tomada de (A.13):

$$P_{N_{ref\ IN}} = K \cdot T_0 \cdot F_{ant} \cdot B_{eq} + \frac{P_{Ni}}{G}$$

Sustituyendo la potencia de ruido interno del receptor, por su expresión tomada de (A.5):

$$P_{N_{ref\ IN}} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot F_{ant} + K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot (F - 1) \Rightarrow$$

$$\boxed{P_{N_{ref\ IN}} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} (F_{ant} + F - 1)} \quad (A.15)$$

Por otra parte, asimilando el sistema (antena + receptor) a un cuadripolo en el que la potencia de ruido de entrada puede modelarse como la entregada a una carga adaptada por una resistencia a temperatura T_0 , al igual que se hizo en el caso de la antena en el punto A.4, se puede definir el Factor de Ruido del Sistema F_{sis} , como aquel valor para el cual:

$$\boxed{P_{N_{ref\ IN}} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot F_{sis}} \quad (A.16)$$

Igualando las expresiones (15) y (16), resulta ser, para el sistema planteado:

$$\boxed{F_{sis} = F_{ant} + F - 1} \quad (A.17)$$

Por otra parte, nótese que como la potencia de ruido de entrada al receptor $P_{N_{ent}}$ viene dada en función de la temperatura equivalente de ruido de la antena T_{ant} , se podía haber definido el factor de ruido del receptor a la temperatura de ruido T_{ant} , según se ha visto en el apartado A.2:

$$P_{N_{sal}} = K \cdot T_{ant} \cdot B_{eq} \cdot F_{T_{ant}} \cdot G$$

Considerando las expresiones anteriores de la $P_{N_{ent}}$ y la $P_{N_{sal}}$ en función de la temperatura equivalente de ruido de la antena T_{ant} , y sustituyéndolas en la expresión (A.4), del mismo modo que se hizo en el apartado A.2, resulta la siguiente expresión de la potencia de ruido interno del receptor:

$$P_{Ni} = K \cdot T_{ant} \cdot B_{eq} \cdot G \cdot (F_{T_{ant}} - 1) \quad (A.18)$$

Igualando la expresión anterior con la expresión de P_{Ni} tomada de (A.5) resulta:

$$K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot G \cdot (F - 1) = K \cdot T_{ant} \cdot B_{eq} \cdot G \cdot (F_{T_{ant}} - 1) \Rightarrow$$

$$\boxed{T_0 \cdot (F - 1) = T_{ant} \cdot (F_{T_{ant}} - 1)} \quad (A.19)$$

La expresión (A.19) viene a ser la misma que la expresión (A.10), si bien, se comprueba que la temperatura de ruido T_A que modela la potencia de ruido de entrada al receptor se corresponde, en el sistema planteado, con la temperatura equivalente de ruido de la antena.

A.6.- Potencia de ruido en un receptor complejo.

Considérese el siguiente sistema receptor, constituido por la antena, un multiacoplador y el receptor de canal:

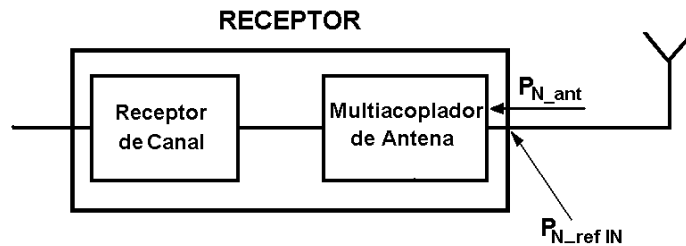


Figura A.2: Cadena de recepción de un canal de la Estación Base.

Se sabe empíricamente que el factor de ruido de un dispositivo pasivo, que se encuentra a temperatura ambiente T_0 , cuando es definido o medido a la temperatura de ruido T_0 , resulta ser igual a las pérdidas de potencia que produce. De este modo, dado que el multiacoplador es un dispositivo pasivo, será:

$$\boxed{F_{Ma} = L_{Ma} = 1/G_{Ma}} \quad (A.20)$$

Este sistema podría ser representativo de la cadena de recepción de una Estación Base.

Nótese que, aunque en el dibujo solo se muestra la cadena de recepción correspondiente a un radiocanal, conectado al multiacoplador de antena habría otros tantos receptores de canal. De forma análoga, en la cadena de transmisión se tendrían varios transmisores de canal conectados a un combinador, a su vez conectado a la antena transmisora.

Nótese, así mismo, que el ancho de banda equivalente de ruido considerado B_{eq} será, en cada caso, el del receptor de canal correspondiente.

Considerando la expresión (A.5), la potencia de ruido interno del receptor de canal y del multiacoplador de antena serán:

$$P_{Ni_Rc} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot G_{Rc} \cdot (F_{Rc} - 1) \quad (A.21)$$

$$P_{Ni_Ma} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot G_{Ma} \cdot (F_{Ma} - 1) \quad (A.22)$$

Por otra parte, la potencia de ruido entregada por la antena al conjunto receptor (multiacoplador + receptores de canal), en la banda del receptor de canal considerado, conforme a la expresión (A.11), será:

$$P_{N_ant} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot F_{ant} \quad (A.23)$$

De este modo, la potencia de ruido referida a la entrada del multiacoplador de antena, es decir, a la entrada del conjunto receptor será:

$$P_{N_{ref} IN} = \frac{P_{Ni_Rc}}{G_{Ma} \cdot G_{Rc}} + \frac{P_{Ni_Ma}}{G_{Ma}} + P_{N_ant} \quad (A.24)$$

Sustituyendo en la expresión anterior los términos por sus correspondientes expresiones tomadas de (A.21), (A.22) y (A.23) resulta:

$$P_{N_{ref} IN} = \frac{K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot (F_{Rc} - 1)}{G_{Ma}} + K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot (F_{Ma} - 1) + K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot F_{ant}$$

Por otra parte, sustituyendo en la expresión anterior G_{Ma} y F_{Ma} por su expresión tomada de (A.20), en función de L_{Ma} , resulta:

$$P_{N_{ref} IN} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot [L_{Ma} \cdot (F_{Rc} - 1) + (L_{Ma} - 1) + F_{ant}] \Rightarrow$$

$$\boxed{P_{N_{ref} IN} = K \cdot T_0 \cdot B_{eq} \cdot [F_{Rc} \cdot L_{Ma} + F_{ant} - 1]} \quad (A.25)$$

Igualando las expresiones (A.25) y (A.16), análogamente a como se hizo en el apartado anterior, resulta ser, para el sistema planteado:

$$\boxed{F_{sis} = F_{Rc} \cdot L_{Ma} + F_{ant} - 1} \quad (\text{A.26})$$

Tanto la expresión (A.26), como la (A.17), se corresponden con la expresión del factor de ruido del sistema F_{sis} genérico considerado en [3].